# پاسخ کارایی نیتروژن، فسفر و روی شنبلیله به ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک در کشت گلخانه‌ای

منیر نظری[1*] و سیف‌اله فلاح[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۳۰)

## چکیده

**به‌منظور بررسی تأثیر ترکیب کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر ماده خشک، جذب و کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و روی گیاه شنبلیله، آزمایشی در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. هشت تیمار آزمایشی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، اوره، اوره+ سولفات روی، اوره+ ازتوباکتر، اوره+ میکوریزا، اوره+ سولفات روی+ ازتوباکتر، اوره+ سولفات روی+ میکوریزا و اوره+ سولفات روی+ میکوریزا+ ازتوباکتر مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین تیمارهای مختلف کودی از نظر جذب و کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و روی، اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P\leq$ ۰/۰۵). بیشترین کارایی زراعی نیتروژن، فسفر و روی (به ترتیب با میانگین ۶۰، ۹۶ و ۱۹۸ گرم بر گرم) در تیمار اوره+ سولفات روی+ ازتوباکتر حاصل شد. تیمار اوره+ میکوریزا دارای بیشترین کارایی جذب فسفر (۱۸/۷ درصد) بود و اختلاف آن با سایر تیمارها، بجز تیمار اوره+ سولفات روی، معنی‌دار بود ($P\leq$ ۰/۰۵). بیشرین کارایی فیزیولوژیک روی در تیمار اوره+ سولفات روی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای اوره+ سولفات روی+ ازتوباکتر و کاربرد توأم دو منبع بیولوژیک نداشت. بیشترین ماده خشک (۲۹۲ گرم در متر مربع) نیز در تیمار اوره+ سولفات روی+ ازتوباکتر به‌دست آمد. به‌طور کلی، استفاده از کودهای بیولوژیک، به‌ویژه ازتوباکتر، همراه با کود اوره و سولفات روی نه تنها در افزایش ماده خشک مؤثر است، بلکه با افزایش کارایی کودهای شیمیایی می‌تواند بهره‌وری کشت گلخانه‌ای شنبلیله را افزایش دهد.**

**واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، کارایی کود، سولفات روی، میکوریزا**

## مقدمه

مصرف بی‌رویهٔ کودهای شیمیایی می‌تواند به آلودگی محیط و محصول غذایی منتهی شود که اغلب دارای آثار منفی بر انسان و حیوان است. کاربرد بیش از حد نیتروژن جهت تولید مادهٔ غذایی ممکن است موجب آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شود. مصرف بیش از حد نیترات می‌تواند برای انسان‌ها و حیوانات نیز سمی باشد (۷). از طرفی دیگر، ورود مقدار زیادی از فسفر به خاک و آب‌ها سلامت انسان و ثبات اکوسیستم‌ها را در معرض تهدید قرار می‌دهد (۲۶). همچنین، در اغلب خاک‌های کشور، به استثنای سواحل دریای خزر، شرایط pH به‌گونه‌ای است که جذب عنصر روی با مشکلاتی روبه‌رو است. این عنصر، در pH قلیایی خاک، غالباً به‌شکل رسوب وجود دارد و گیاهان قادر به استفاده از آن نیستند. همچنین، زیاد بودن درصد بی‌کربنات‌کلسیم باعث غیر فعال شدن این عنصر در خاک شده، به گونه‌ای که فعالیت این عنصر در خاک بسیار محدود بوده و به صورت غیر قابل جذب در می‌آید (۹).

امروزه، با توجه به مشکلاتی که مصرف بی‌رویهٔ کودهای شیمیایی به وجود آورده است، استفاده از کودهای بیولوژیک در پرورش و رشد گیاهان مطرح شده است. گروهی از این

۱. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: nazarimonir@yahoo.com

کودها در حقیقت ماده‌ای شامل انواع مختلف ریزجانداران آزادزی بوده (۱۱) که توانایی تبدیل عناصر غذایی اصلی را از شکل غیر قابل دسترس به شکل قابل دسترس، طی فرایندهای بیولوژیک، داشته (۳۱) و منجر به توسعه سیستم ریشه‌ای و جوانه‌زنی بهتر بذرها می‌گردند (۲۴). همچنین، در برخی از فرایندهای کلیدی بوم‌نظام، مانند فرایندهای دخیل در کنترل بیولوژیک پاتوژن‌های گیاهی، چرخه عناصر غذایی و استقرار گیاهچه نیز نقش دارند (۱۴). در این ارتباط، با تأثیر ریزجانداران بر رشد گیاه مشخص شده که افزایش حاصلخیزی خاک به‌وسیله کودهای بیولوژیک نظیر ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس باعث افزایش و بهبود خصوصیات رشدی گیاه دارویی سیاهدانه، از قبیل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه شده است (۲۹).

قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا نیز گروه دیگری از کودهای بیولوژیک هستند که جزء اصلی فلور محیط ریشه گیاهان در بوم‌نظام های طبیعی می باشند (۲۷) و رابطه همزیستی با بیشتر نهاندانگان، از جمله چندین گونه گیاه دارویی، دارند (۳۰ و ۳۲). در همین راستا، گزارش شده که تلقیح بذر رازیانه با میکوریزا، به‌دلیل افزایش باروری فسفر در خاک، باعث افزایش معنی‌دار رشد و همچنین بهبود عملکرد اسانس گیاه می‌شود (۲۱). در واقع تلقیح میکوریزا در افزایش توانایی گیاه میزبان برای جذب عناصر غذایی غیر متحرک، خصوصاً فسفر، به‌وسیله تولید اسیدهای آلی مانند استیک، لاکتیک، اگزالیک و سیتریک توسط ریزجانداران حل‌کننده فسفات در اطراف ریشه‌های گیاه (۱۸) که مهم‌ترین عامل حلالیت فسفر به شمار می‌رود، تأثیر مفیدی داشته است (۲۸).

یکی از راه‌های سنجش بهره‌وری کودهای شیمیایی، ارزیابی کارایی استفاده از عناصر است که به مفهوم توانایی گیاه برای تبدیل عناصر جذب شده به عملکرد اقتصادی (ماده خشک) می‌باشد (۱۶). اکثر تلفات نیتروژن موجود در کودهای شیمیایی به‌صورت آبشویی و بین ۲۵ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار در سال برآورد شده و بر همین اساس کارایی استفاده از نیتروژن مصرفی در مزارع کشاورزی کم است (۱۷). درصد بازیافت عناصر (نسبت مقدار عنصر جذب شده توسط گیاه به مقدار کود مصرف شده از هر عنصر) با خصوصیات خاک، مقدار، روش و زمان مصرف کود تغییر می‌کند و میزان آن بین ۳۰ تا ۶۰ درصد می‌باشد (۸). بازیافت عناصر، خصوصاً نیتروژن، با افزایش مصرف کود کاهش می‌یابد و مقدار آن در گیاهان زراعی معمولاً کمتر از ۵۰ درصد است. دلیل این موضوع، کم بودن بازیافت عناصر غذایی در گیاهان یکساله در اثر زیاد بودن تلفات کودی عنوان شده است (۳).

از آنجا که گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) یکی از گیاهان دارویی ارزشمند است که علاوه بر مصارف متعدد دارویی (۱۱ و ۲۵) به‌صورت سبزی در رژیم غذایی اهمیت زیادی دارد، تولید گلخانه‌ای آن می‌تواند تداوم عرضه و مصرف این محصول دارویی ارزشمند را تضمین نماید. از این رو، آزمایش حاضر با هدف ارزیابی اثر مصرف کود اوره، کودهای زیستی و کود سولفات روی و اثر متقابل آنها، بر ماده خشک و کارایی مصرف عناصر (نیتروژن، فسفر و روی) در گیاه شنبلیله در شرایط گلخانه‌ای اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام گردید. هشت تیمار کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، اوره، اوره+ سولفات روی، اوره+ ازتوباکتر، اوره+ میکوریزا، اوره+ سولفات روی+ ازتوباکتر، اوره+ سولفات روی+ میکوریزا و اوره+ سولفات روی+ میکوریزا+ ازتوباکتر در این آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفتند. قبل از انجام آزمایش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایشگاه تعیین شد. بافت خاک لوم رسی، اسیدیته آن ۸/۱۵ و هدایت الکتریکی آن ۰/۶۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. میزان نیتروژن کل و کربن آلی آن به ترتیب ۰/۰۵۹ و ۰/۶۲۴ درصد و همچنین میزان فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس (قابل دسترس) نیز به ترتیب ۶/۳، ۳۷۱،

۲/۸۹، ۰/۴۸ و ۰/۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود.

گلدان‌های آزمایش قبل از استفاده به‌طور کامل با آب مقطر شسته شده و سپس با توجه به ابعاد گلدان‌ها (۲۸×۲۵×۱۸ سانتی‌متر، به‌ترتیب ارتفاع، قطر بزرگ و قطر کوچک)، ۸ کیلوگرم خاک الک شده (با الک ۲ میلی‌متری) که به‌طور کامل و یکنواخت با هم مخلوط شده بود، توزین و در اوایل اسفند ماه ۱۳۹۰ به آنها انتقال داده شد. در کف گلدان‌ها، به‌دلیل وجود زهکش، یک عدد کاغذ صافی جهت جلوگیری از انتقال و خروج خاک قرار داده شد. سپس، باتوجه به نتایج آزمون خاک، در تیمارهای دارای اوره، مقدار ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع اوره به‌صورت پیش‌کاشت و سرک به‌طور یکنواخت به خاک اضافه شد. در تیمارهای دارای سولفات روی، مقدار ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع سولفات روی به صورت پیش‌کاشت و به‌طور یکنواخت با خاک مخلوط و اضافه شد. از قارچ میکوریزا آربوسکولار (*Glomus intraradaices*) تهیه شده از شرکت زیست فناوران توران و ازتوباکتر کرکوکوم (*Azotobacter chroococcum*) تهیه شده از شرکت مهر آسیا استفاده شد. برای تلقیح بذرها، ابتدا مایه تلقیح باکتری با $10^8$ تعداد سلول زنده در هر گرم، تهیه نموده و سپس در شرایط سایه، این مایع تلقیح به بذرها اضافه و به‌خوبی مخلوط شد. سپس، بذرها درون پاکت‌های کاغذی جداگانه منتقل شد و برای خشک شدن به‌مدت دو ساعت در همان محل (سایه) قرار گرفتند. در تیمارهای دارای میکوریزا، مقدار ۱۰۰ تا ۱۵۰ گرم مایع تلقیح (شامل اسپور، هیف و قطعات ریشه آلوده) به هر گلدان اضافه و سپس با خاک سطحی مخلوط گردید.

در نیمه دوم اردیبهشت، بذرهای شنبلیله با تراکم زیاد (۵۰ بذر در گلدان) در عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متر خاک کشت شدند و سپس در مرحله ۶-۴ برگی به ۴۰ گیاه در گلدان کاهش یافتند. اولین آبیاری پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر ۵ روز یکبار تا آخر دوره رشد انجام شد. آفت و بیماری خاصی در طول دوره رشد مشاهده نشد. در پایان دورهٔ رشد رویشی (۶۰ روز پس از کاشت) تمام گیاهان موجود در گلدان‌ها برداشت شدند و سپس طول ریشه، طول ریشه کلونیزه، میزان کلونیزاسیون، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان کلونیزاسیون و طول ریشه کلونیزه شده گیاه شنبلیله، ابتدا یک نمونه از ریشه گیاه برداشته و به‌کمک تری‌پنبلو رنگ‌آمیزی شد و سپس با استفاده از روش تقاطع شبکه‌ای، طول ریشه کلونیزه شده و میزان کلونیزه‌سازی محاسبه گردید (۶). غلظت نیتروژن کل به‌روش هضم، تقطیر و تیتراسیون با استفاده از دستگاه کجلدال مدل Gerhardf Vapodest و میزان فسفر به‌روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Pharmacia LKB-Novaspec-11 اندازه‌گیری شد (۲۶). برای تعیین غلظت روی از روش خاکسترگیری خشک با اسید کلریدریک و دستگاه جذب طیف سنج اتمی مدل GBC 932 plus استفاده شد (۱). جذب روی، نیتروژن و فسفر توسط گیاه از حاصلضرب ماده خشک در غلظت این عناصر در هر گیاه به‌دست آمد.

جهت محاسبه کارایی زراعی فیزیولوژیک عناصر از روابط زیر استفاده شد (۱۰):

$$\text{کارایی مصرف یا زراعی (kg/kg)} = \frac{\text{ماده خشک تیمار شاهد - ماده خشک تیمار حاوی کود}}{\text{عنصر مصرفی}} \quad [۱]$$

$$\text{کارایی جذب یا بازیافت (٪)} = \frac{\text{جذب عنصر تیمار شاهد - جذب عنصر تیمار حاوی کود}}{\text{عنصر مصرفی}} \quad [۲]$$

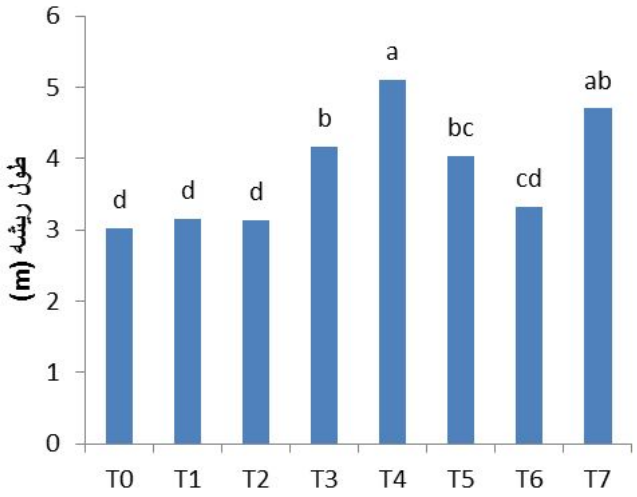
$$\text{کارایی فیزیولوژیک (kg/kg)} = \frac{\text{ماده خشک تیمار شاهد - ماده خشک تیمار حاوی کود}}{\text{جذب عنصر تیمار شاهد - جذب عنصر تیمار حاوی کود}} \quad [۳]$$

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

**جدول ۱. تجزیه واریانس اثر ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر طول ریشه، طول ریشه کلونیزه، میزان کلونیزاسیون و وزن خشک ریشه و اندام هوایی شنبلیله**

| | | میانگین مربعات | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| منبع تغییر | درجه آزادی | طول ریشه | طول ریشه کلونیزه | میزان کلونیزاسیون | وزن خشک ریشه | وزن خشک اندام هوایی |
| تکرار | ۲ | ۰/۰۵ ns | ۰/۳ ns | ۶۱ ns | ۸۵ ns | ۳۸۰ns |
| تیمار | ۷ | ۱/۸۵** | ۱/۳۸** | ۸۳۷** | ۱۸۲ ns | ۳۶۲۱** |
| خطای آزمایش | ۱۴ | ۰/۱۷ | ۰/۰۲ | ۳۱ | ۹۸ | ۳۷۲ |

**و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

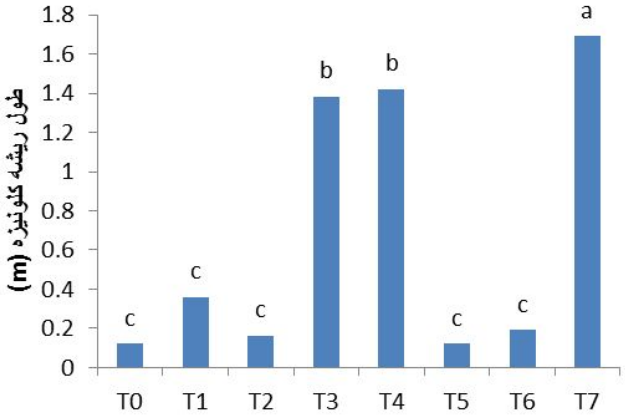



**شکل ۱. اثر ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر طول ریشه شنبلیله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند. $T_0$، $T_1$، $T_2$، $T_3$، $T_4$، $T_5$، $T_6$ و $T_7$ به ترتیب نشان‌دهنده عدم مصرف کود، کود اوره، کود سولفات روی+ اوره، میکوریزا+ اوره، میکوریزا+ سولفات روی+ اوره، ازتوباکتر+ اوره، ازتوباکتر+ سولفات روی+ اوره و میکوریزا+ ازتوباکتر+ سولفات روی + اوره.**

## نتایج و بحث

### طول ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کوددهی بر طول ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). کاربرد سولفات روی+ میکوریزا به همراه اوره بیشترین تأثیر را بر میزان طول ریشه داشت (شکل ۱) که با کاربرد سولفات روی+ میکوریزا+ ازتوباکتر به همراه اوره اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. این امر حاکی از آن است که تلقیح میکوریزایی در شرایط فراهم بودن دیگر عناصر غذایی، در افزایش طول ریشه تأثیرگذار بوده است. در واقع، قارچ‌های میکوریزا از طریق گسترش شبکه هیفی خارج ریشه‌ای موجب افزایش جذب و انتقال مواد غذایی به ریشه می‌شوند و سیستم ریشه‌ای گیاه در نتیجه میکوریزایی شدن تغییر می‌کند (۲۲)، به‌طوری که در ریشه‌های گیاهان میکوریزایی، طول ریشه بیشتر و انشعابات آن وسیع‌تر می‌شود (۱۲). در این ارتباط، بهل و همکاران (۱۳) نیز




**شکل ۲. اثر ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر طول ریشه کلونیزه شنبلیله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند. تیمارها در شکل ۱ معرفی شده‌اند.**

نشان دادند که تلقیح ریشه گندم با میکوریزا و ازتوباکتر سبب افزایش معنی‌دار طول ریشه گردید.

## طول ریشه کلونیزه

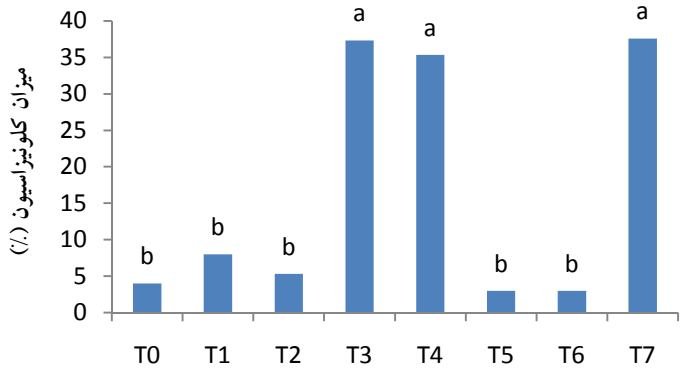
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر کوددهی بر طول ریشه کلونیزه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین طول ریشه کلونیزه شده در شرایط استفاده از سولفات روی+ میکوریزا + ازتوباکتر به‌همراه اوره به دست آمد. طول ریشه کلونیزه شده در دیگر تیمارهای میکوریزا نیز نسبتاً زیاد بود و در مقایسه با تیمار فوق‌الذکر رتبه دوم بود. از طرفی، مشاهده مقدار کمی ریشه کلونیزه شده در تیمارهایی که میکوریزا تلقیح نشده بود نیز حاکی از وجود جمعیت طبیعی قارچ میکوریزا در خاک مورد استفاده می‌باشد (شکل ۱). تلقیح ریحان (*Ocimum basilicum* L.) با سه گونه قارچ میکوریزا (*Gigaspora rosea* BEG 9، *Glomus mosseae* BEG 12 و *Gigaspora margarita* BEG 34) باعث افزایش معنی‌دار طول و میزان انشعابات جانبی ریشه در مقایسه با شاهد شده است (۱۵). این میزان افزایش در گیاه اسفرزه تا ۱۰۰٪ نیز گزارش شده است (۶).

## طول ریشه کلونیزه

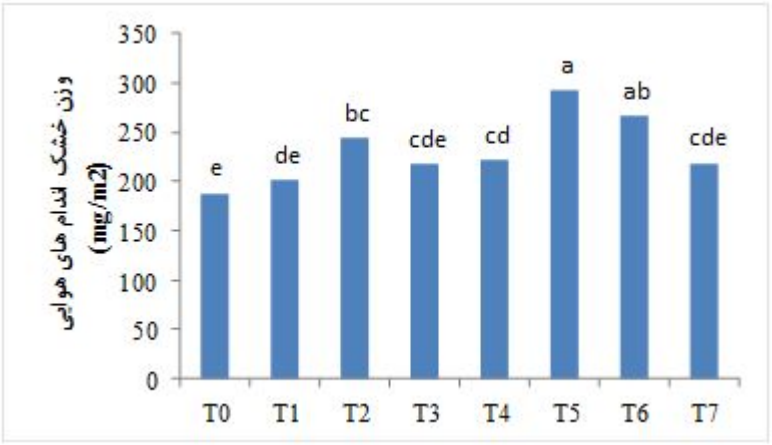
همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده، اثر کوددهی بر طول ریشه کلونیزه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین طول ریشه کلونیزه شده در شرایط استفاده از سولفات روی+ میکوریزا + ازتوباکتر به‌همراه اوره به دست آمد. طول ریشه کلونیزه شده در دیگر تیمارهای میکوریزا نیز نسبتاً زیاد بود و در مقایسه با تیمار فوق‌الذکر رتبه دوم را داشت. از طرفی، مشاهده مقدار کمی ریشه کلونیزه شده در تیمارهایی که میکوریزا تلقیح نشده بود نیز حاکی از وجود جمعیت طبیعی قارچ میکوریزا در خاک مورد استفاده می‌باشد (شکل ۲). تلقیح ریحان (*Ocimum basilicum* L.) با سه گونه قارچ میکوریزا (*Gigaspora rosea* BEG 9، *Glomus mosseae* BEG 12 و *Gigaspora margarita* BEG 34) باعث افزایش معنی‌دار طول و میزان انشعابات جانبی ریشه در مقایسه با شاهد شده است (۱۵). این میزان افزایش در گیاه اسفرزه تا ۱۰۰٪ نیز گزارش شده است (۶).

## میزان کلونیزاسیون

تأثیر کوددهی بر میزان کلونیزاسیون ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها در شکل ۳ نشان می‌دهد که در شرایط عدم تلقیح میکوریزا، بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه ۸٪ بود، اما تلقیح میکوریزا باعث افزایش کلونیزاسیون ریشه تا ۳۷٪ گردید. این نتیجه نشان‌دهنده جمعیت




**شکل ۳. اثر ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر میزان کلونیزاسیون شنبلیله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند. تیمارها در شکل ۱ معرفی شده‌اند**




**شکل ۴. اثر ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر وزن خشک اندام هوایی شنبلیله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند. تیمارها در شکل ۱ معرفی شده‌اند**

کم و یا توان کمتر جمعیت قارچ‌های میکوریزای بومی در برقراری همزیستی با ریشه گیاه شنبلیله می‌باشد. در گیاه اسفرزه نیز گزارش شده که حضور قارچ‌های میکوریزایی، میزان کلونیزاسیون ریشه این گیاه را به میزان ۲۵٪ افزایش داده است (۶). همچنین، در گیاه ذرت نیز برتری کلونیزاسیون ۱۱ درصدی در مقایسه با شاهد گزارش شده است (۴ و ۵).

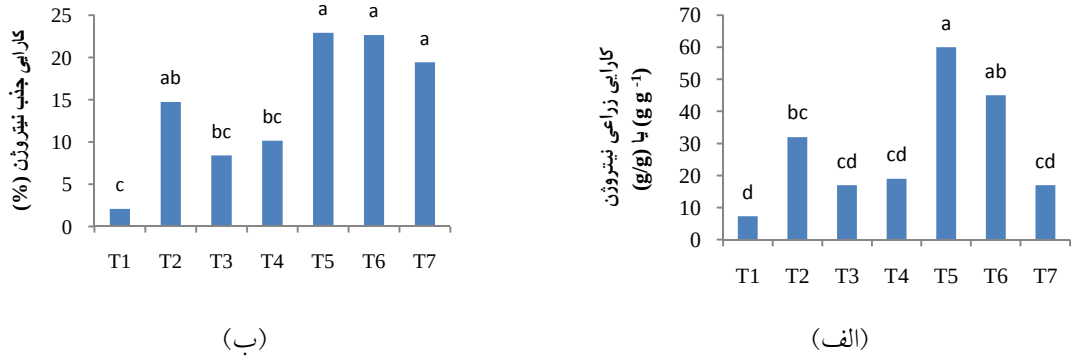
## وزن خشک ریشه و اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی شنبلیله در سطح ۱٪ تحت تأثیر کوددهی قرار گرفت، اما وزن خشک ریشه پاسخ معنی‌داری به کوددهی نشان نداد (جدول ۱). بیشترین ماده خشک اندام هوایی در تیمار ازتوباکتر+ اوره حاصل شد که با کاربرد ازتوباکتر+ اوره+ سولفات روی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴). باکتری‌های محرک رشد گیاه جذب عناصر غذایی و رشد گیاه را از طریق مکانیسم‌های متعددی نظیر تثبیت بیولوژیک نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی از جمله جیبرلین، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها، سیدروفورها و تولید آنزیم‌های حل‌کننده فسفات‌های آلی و معدنی افزایش می‌دهند (۲۲). همچنین، توانایی ساخت کمپلکس سیدروفور- آهن و نیز تولید آنزیم ۱- آمینوسیکلوپروپان-۱- کربوکسیلات (ACC) د- آمیناز در این باکتری‌ها از دیگر راهکارهای افزایش رشد گیاه است (۹). بنابراین، آثار مثبت این ریزجاندارن منتج به افزایش وزن

**جدول ۲. تجزیه واریانس اثر ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر کارایی زراعی، جذب و فیزیولوژیک نیتروژن و فسفر شنبلیله**

| منبع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | کارایی زراعی نیتروژن | کارایی جذب نیتروژن | کارایی فیزیولوژیک نیتروژن | کارایی زراعی فسفر | کارایی جذب فسفر | کارایی فیزیولوژیک فسفر |
| تکرار | ۲ | ۱۳۷۱$^{**}$ | ۲۹$^{ns}$ | ۰/۰۰۱۵$^{ns}$ | ۳۴۵۶$^{**}$ | ۸۳$^{ns}$ | ۰/۰۰۹$^{ns}$ |
| تیمار | ۶ | ۱۰۵۸$^{**}$ | ۱۸۵$^{**}$ | ۰/۰۰۱۴$^{ns}$ | ۲۶۶۶$^{**}$ | ۱۰۴$^{*}$ | ۰/۰۰۹$^{ns}$ |
| خطای آزمایش | ۱۲ | ۱۱۵ | ۲۶ | ۰/۰۰۵۱ | ۲۸۹ | ۲۷ | ۰/۰۱۱ |

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار



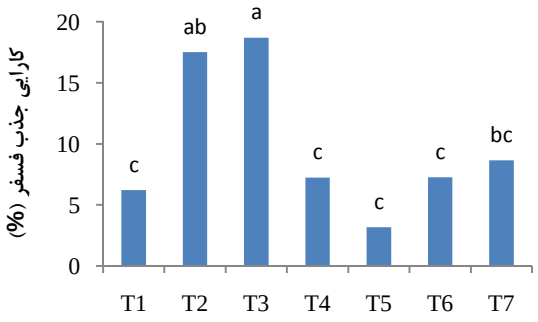

(الف) (ب)

**شکل ۵. اثر ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر کارایی‌های زراعی (الف) و جذب (ب) نیتروژن در شنبلیله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند. تیمارها در شکل ۱ معرفی شده‌اند.**

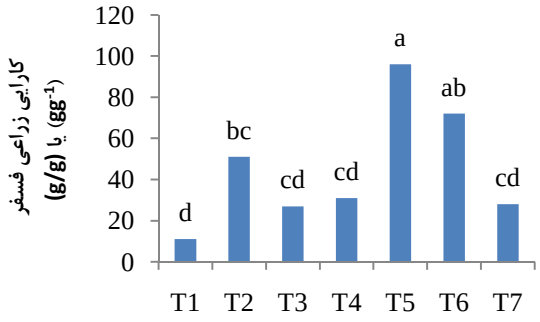
خشک بخش‌های مختلف گیاه می‌گردد (۲۹).

## کارایی زراعی، جذب و فیزیولوژیک نیتروژن

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر کوددهی بر کارایی جذب و کارایی زراعی نیتروژن معنی‌دار، اما بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن معنی‌دار نبوده است. تیمار ازتوباکتر+ اوره بیشترین کارایی جذب و کارایی زراعی نیتروژن را نشان داد. با این حال، کارایی زراعی نیتروژن این تیمار با تیمار T6 و همچنین کارایی جذب نیتروژن آن با تیمارهای T2، T6 و T7 اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۵- الف و ب). به‌نظر می‌رسد که مصرف کود سولفات روی به‌دلیل وجود عنصر روی در آن و همچنین دارا بودن مقدار قابل توجهی عنصر گوگرد (۳۷٪ روی و ۲۴٪ گوگرد) باعث افزایش کارایی زراعی نیتروژن شده است. از طرفی، وجود ازتوباکتر علاوه بر فراهم نمودن نیتروژن مورد نیاز گیاه (۳۲) به‌دلیل افزایش رشد اندام هوایی (شکل ۴) موجب افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه حصول بیشترین کارایی این عنصر در گیاه شده است. همچنین، معدنی شدن آهسته‌تر نیتروژن در مصرف توأم تیمارهای کودی نیتروژن و ازتوباکتر در مراحل مختلف رشد گیاه، در مقایسه با مصرف اوره به‌تنهایی، نیز می‌تواند بالا بودن کارایی تیمار ازتوباکتر+ سولفات روی+ اوره دخیل باشد (۲۴). نتایج تحقیقات دیگر نشان داده که کارایی زراعی نیتروژن متأثر از مصرف نیتروژن است و در استفاده از نیتروژن به تنهایی کارایی زراعی کاهش می‌یابد (۱۹). ولی مصرف توأم سولفات روی و اوره در گیاه کلزا باعث




(ب)




(الف)

**شکل ۶. اثر ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر کارایی‌های زراعی (الف) و جذب (ب) فسفر در شنبلیله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند. تیمارها در شکل ۱ معرفی شده‌اند.**

افزایش کارایی جذب نیتروژن شده است (۲۰).

## کارایی زراعی، جذب و فیزیولوژیک فسفر

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است کوددهی تأثیر معنی‌داری بر کارایی جذب و کارایی زراعی فسفر داشت، اما کارایی فیزیولوژیک فسفر تحت تأثیر کوددهی قرار نگرفت. بیشترین کارایی زراعی فسفر در شرایط کاربرد اوره+ ازتوباکتر و اوره+ ازتوباکتر+ سولفات روی به‌دست آمد (شکل ۶- الف)، اما بیشترین میزان کارایی جذب این عنصر در تیمار میکوریزا+ اوره حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد سولفات روی+ اوره نداشت (شکل ۶- ب). در شرایط حضور ازتوباکتر، به علت تحریک رشد گیاه (۲۳) ماده خشک بیشتری تولید می‌شود (شکل ۴) و به تبع در این شرایط فسفر موجود در خاک کارایی بیشتری خواهد داشت. از طرفی، افزایش میکوریز ریشه، زمینه بهبود برقراری تعادل، جذب و انتقال عناصر غذایی از طریق ریشه به اندام هوایی را فراهم نموده (۲) و باعث افزایش کارایی جذب فسفر در این تیمارها شده است. همچنین، افزایش کلونیزاسیون ریشه (شکل ۳) منجر به توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان می‌شود (شکل ۱). در نتیجه، سطح جذب ریشه‌ها به‌علت نفوذ هیف‌های قارچ در خاک افزایش یافته که با دسترسی ریشه به حجم بیشتری از کارایی جذب عناصر غذایی افزایش یافته و این امر می‌تواند در افزایش تولید ماده خشک مؤثر باشد (۲۳). علاوه بر این، برخی محققین نشان داده‌اند که وجود گوگرد در کود سولفات روی با آزاد کردن تدریجی فسفر طی معدنی شدن نیتروژن و آزاد کردن اسیدهای آلی در محیط موجب افزایش حلالیت این عنصر و در نتیجه افزایش کارایی جذب آن شده است (۱۹).

## کارایی زراعی، جذب و فیزیولوژیک روی

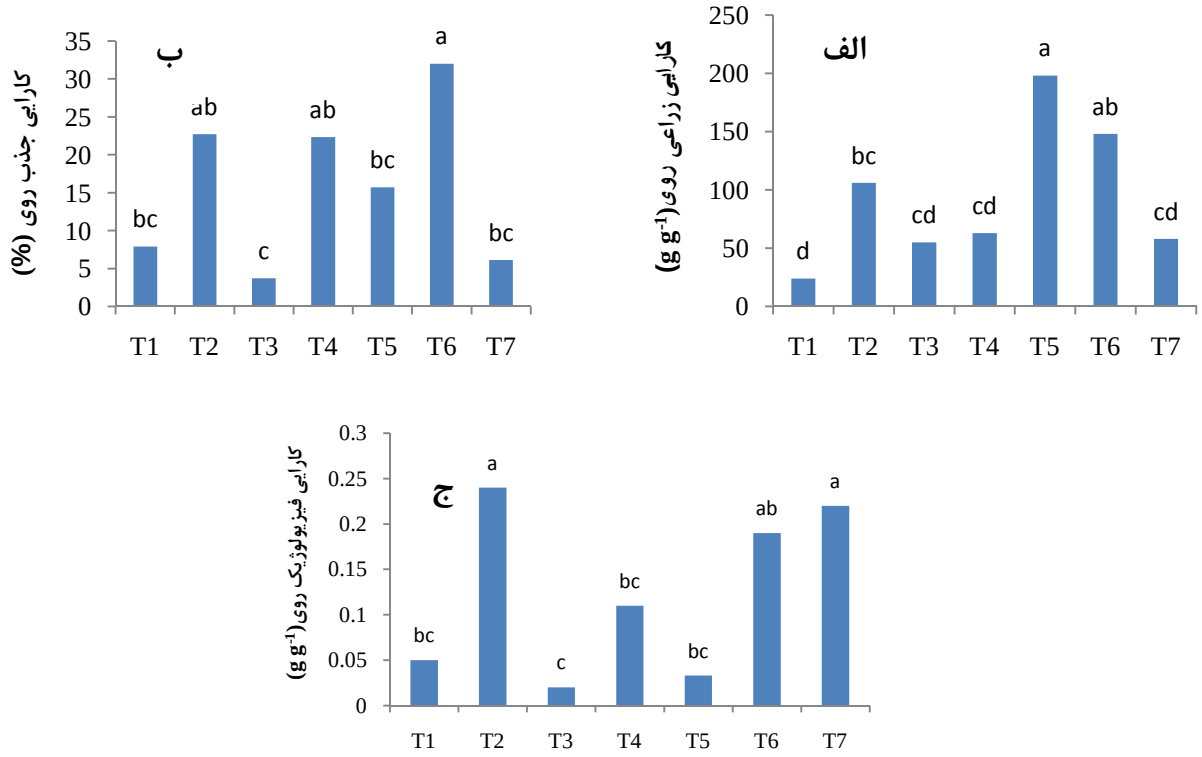
نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر کوددهی بر کارایی‌های جذب، زراعی و فیزیولوژیک روی در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان کارایی زراعی روی به تبعیت از ماده خشک تولید شده، به‌ترتیب در تیمارهای ازتوباکتر+ اوره و ازتوباکتر+ سولفات روی+ اوره حاصل شد (شکل ۷- الف). اگرچه تیمار ازتوباکتر+ سولفات روی+ اوره دارای بیشترین میزان کارایی جذب روی بود (۳۲٪) ولی اختلاف معنی‌داری با سولفات روی+ اوره و میکوریزا+ سولفات روی+ اوره نداشت (شکل ۷- ب).

کلیه تیمارهای دارای سولفات روی، به استثنای میکوریزا+ سولفات روی+ اوره، دارای بیشترین میزان کارایی فیزیولوژیک روی بودند (شکل ۷- ج). کاربرد توأم ازتوباکتر و سولفات

**جدول ۳. تجزیه واریانس اثر ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر کارایی زراعی، جذب و فیزیولوژیک روی در شنبلیله**

| منبع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | |
|---|---|---|---|---|
| | | کارایی زراعی روی | کارایی جذب روی | کارایی فیزیولوژیک روی |
| تکرار | ۲ | ۱۴۴۷۹$^{**}$ | ۱۰$^{ns}$ | ۰/۰۰۶$^{ns}$ |
| تیمار | ۶ | ۱۱۲۶۰$^{**}$ | ۳۳۷$^{*}$ | ۰/۰۲۶$^{*}$ |
| خطای آزمایشی | ۱۲ | ۱۲۵۹ | ۸۷ | ۰/۰۰۸۱ |

$^{**}$، $^{*}$ و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار




**شکل ۷. اثر ترکیب کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر کارایی‌های زراعی (الف)، جذب (ب) و فیزیولوژیک (ج) روی در شنبلیله. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند. تیمارها در شکل ۱ معرفی شده‌اند.**

روی سبب افزایش هر سه نوع کارایی شده است. با توجه به معنی‌دار شدن کارایی جذب، زراعی و فیزیولوژیک روی در تیمار ازتوباکتر+ سولفات روی+ اوره، همچنین با مصرف ازتوباکتر به همراه سولفات روی نیز دارای بیشترین میزان ماده خشک بوده است. پس می‌توان بیان داشت که کاربرد ازتوباکتر در کنار سولفات روی باعث افزایش جذب و حداکثر استفاده از روی می‌شود. یاسری و همکاران (۳۳) بیان داشتند که بیشترین عملکرد کلزا در تیمار سولفات روی به همراه ازتوباکتر حاصل گردید.

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که مصرف کودهای بیولوژیک ازتوباکتر به صورت تلفیقی از اوره و سولفات روی باعث افزایش عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن،

فسفر و روی در گیاه شنبلیله در شرایط گلخانه‌ای می‌شود. بنابراین، استفاده از این ترکیب کودی علاوه بر ارتقاء کارایی کودهای مصرفی می‌تواند در کاهش آلودگی زیست‌محیطی ناشی از کارایی کم کودهای شیمیایی مؤثر باشد. علاوه بر این، افزایش کیفیت محصول به‌دلیل استفاده از کود بیولوژیک و حتی سولفات روی نیز محتمل است و بررسی این کیفیت در آزمایش‌های مستقل آتی پیشنهاد می‌گردد.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مساعدت‌های مالی دانشگاه شهرکرد در اجرای این پژوهش قدردانی می‌گردد.

## منابع مورد استفاده


۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره ۹۸۲، انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ۲۰۲ صفحه.

۲. جهان، م.، ع. ر. کوچکی و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸٦. رشد، فتوسنتز و عملکرد ذرت در پاسخ به تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری‌های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن در نظام‌های زراعی رایج و اکولوژیک. پژوهش‌های زراعی ایران ۵(۱): ۵۳-٦۷.

۳. دانشور، م.، ز. طهماسبی سروستانی، س. ع. م. مدرس ثانوی و ا. ح. شیرانی‌راد. ۱۳۸۸. اثر آبیاری و کود نیتروژن بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی دو رقم کانولا (*Brassica napus* L.). علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۵(۴): ٥٦-٦۸.

۴. ساجدی، ن. ع. و ف. رجالی. ۱۳۹۰. تأثیر تنش خشکی، کاربرد روی و تلقیح میکوریز بر جذب عناصر کم مصرف در ذرت. علوم خاک و آب ۲۵(۲): ۸۴-۹۲.

۵. علیزاده، ا. ۱۳۸۴. بررسی اثر مقادیر مختلف نیتروژن و تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد و میزان غلظت عناصر غذایی و نیز مطالعه همزیستی میکوریزایی در ذرت . رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز.

٦. قاسمی، ک. ۱۳۹۰. اثر همزیستی میکوریزایی و منابع مختلف نیتروژن بر خصوصیات کمی و کیفی اسفرزه تحت تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.

۷. متشرع زاده، ب.، غ. ثواقبی و ح. علیخانی. ۱۳۸۸. مقابله با تنش کادمیوم در یونجه با کاربرد زاد مایه باکتری‌های بومی مقاوم. اولین همایش ملی تنش‌های محیطی در علوم کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

۸. محبوب خمامی، ع.، ر. کسرایی، م. مقدم و م. کاووسی. ۱۳۸۳. اثر کود اوره، اوره با پوشش گوگردی و روش‌های کاربرد آنها بر عملکرد دانه، بازده و بازیافت نیتروژن در برنج (رقم نعمت). دانش کشاورزی ۱۴(۴): ۱۰۷-۱۱۴.

۹. ملکوتی، م. ج و م. ن. غیبی. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور. نشر آموزش کشاورزی، کرج.

10. Abbasi, M.K., A. Khaliq, M. Shafiq, M. Kazmi and A. Imran. 2010. Comparative effectiveness of urea N, poultry manure and their combination in changing soil properties and maize productivity under rainfed conditions in northeast Pakistan. Exp. Agric. 46: 211-230.
11. Altuntas, E., O. Engin, Z.E. Zgo and F. Taser. 2005. Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceu*m L.) seeds. J. Food Eng.71: 37-43.
12. Azcón-Aguilar, C., R. Azcón and J.M. Barea. 1979. Endomycorrhizal fungi and rhizobium as biological fertilisers for *Medicago sativa* in normal cultivation. Nature 279: 325-327.
13. Behl, R.K., H. Sharma, V. Kumar and K.P. Singh. 2003. Effect of dual inoculation of VA mycorrhiza and *Azotobacter chroococcum* on above flag leaf characters in wheat. Arch. Agron. Soil Sci. 49: 25-31.
14. Benabdellah, K., Y. Abbas, M. Abourouh and R. Azcón. 2011. Influence of two bacterial isolates from degraded and non-degraded soils and arbuscular mycorrhizae fungi isolated from semi-arid zone on the growth of *Trifolium*

*repens* under drought conditions: Mechanisms related to bacterial effectiveness. J. Soil Biol. 47: 303-309.
15. Copetta, A., V. Lingua and G. Bert. 2006. Effect of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. Mycorrhiza 16: 485-494.
16. Delogu, G., L. Cattivelli, N. Pecchioni, D. De Falcis, T. Maggiore and A.M. Stanca. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. Eur. J. Agron. 9: 11-20.
17. Fazili, I.S., A. Jamal, S. Ahmad, M. Masoodi, J.S. Khan and M.Z. Abdin. 2008. Interactive effect of sulfur and nitrogen on nitrogen accumulation and harvest in oilseed crops differing in nitrogen assimilation potential. J. Plant Nutr. 31(7): 1203-1220.
18. Griffe, P., S. Metha and D. Shankar. 2003. Organic Production of Medicinal, Aromatic and Dye-Yielding Plants (MADPs). FAO, Rome, Italy.
19. Hirel, B., J. Le Gouis, B. Ney and A. Gallais. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: Towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. J. Exp. Bot. 58:(9) 2369-2387.
20. Jackson, G.D. 2000. Effect of nitrogen and sulfur on canola yield and nutrient uptake. J. Agron. Crop Sci. 92: 644-649.
21. Kapoor, R., B. Giri and K.G. Mukerji. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresour. Technol. 93: 307-311.
22 Khan, A.G. 2005.Mycorrhizas andphytoremediation. In:Methods in biotechnology: phytoremediation: methods and reviews (Willey N., ed). Humana Press Inc., Totowa, NJ, USA.
23. Kravchenko, L.V., E.I. Leonova and I.A. Tikhonovich. 1994. Effect of root exudates of non-legume plants on the response of auxin production by associated diazotrophs. Microbial Releases 2: 267-271.
24. Lakshminarayana, K. 1993. Influence of azotobacter on nutrition of plant and crop productivity. *In:* Proc. of Indian Nat. Sci. Acad. 59: 303-308.
25. Mandegary, A., M. Pournamdari, F. Sharififar, S. Pournourmohammadi, R. Fardiar and S. Shooli. 2012. Alkaloid and flavonoid rich fractions of fenugreek seeds (*Trigonella foenum-graecum* L.) with antinociceptive and anti-inflammatory effects. J. Food Chem. Toxicol. 50: 2503-2507.
26. Murphy, J. and J.P. Riley. 1962. A modified single solution for determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta 27: 35-36.
27. Nosengo, N. 2003. Fertilized to death. Nature 425: 894-895.
28. Ortas, I., N. Sari, C. Akpinar and H. Yetisir. 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. Sci. Hort. 128: 92-98.
29. Ramos, I., E. Esteban, J.J. Lucena and A. Garate. 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca sp*. Cd-Mn interaction. Plant Sci. 162: 761-767.
30. Ravi, S., H.T. Channal, N.S. Hebsur, B.N. Patil and P.R. Dharmatti. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). J. Agric. Sci. 21(3): 382-385.
31. Srivastava, N.K. and M. Basu. 1995. Occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in some medicinal plants. PP. 58-61. *In:* Adholeya, A. and S. Singh (Eds.), Mycorrhizae: Biofertilizers for the Future. Third National Conference on Mycorrhiza, TERI, Delhi, India,.
32. Tilak, K.V.B.R., N. Ranganayaki, K.K. Pal, R. De, A.K. Saxena, C. Shekhar Nautiyal, Shilpi Mittal, A.K. Tripathi Current Sci. 89: 136-150. and B.N. Johri. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria.
33. Yasari. E., M. Esmaeili Azadgoleh, H. Pirdashti and S. Mozafari. 2008. Azotobacter and azospirillum inoculants as biofertilizer in canola (*Brassica napus* L.) cultivation. Asian J. Plant Sci. 7(5): 490-494.