نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 6، شماره 4، زمستان 1393، ص. 787-779

Journal of Agroecology
Vol. 6, No. 4, Winter 2015, p. 779-787

بررسی امکان بهبود رشد ریشه دو رقم عدس(*Lens culinaris* L.) با استفاده از همزیستی میکوریزایی و *آزوسپریلیوم* تحت شرایط دیم

صادق ملکی[1]، فیاض آقایاری[2*]، محمدرضا اردکانی[3] و فرهاد رجالی[4]

تاریخ دریافت: 1392/06/26
تاریخ پذیرش: 1392/12/08

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی امکان بهبود رشد ریشه گیاه عدس (*Lens culinaris* L.) با استفاده از همزیستی میکوریزایی و همیاری باکتری *آزوسپریلیوم* تحت شرایط دیم انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل سه عاملی با استفاده از عامل‌های قارچ میکوریزا (عدم مصرف میکوریزا، مصرف گونه *Glomus intraradices* و مصرف گونه *Glomus mosseae*)، باکتری *آزوسپریلیوم* (عدم مصرف باکتری و مصرف باکتری *Azospirillum brasilense*) و ارقام عدس (رقم دانه درشت مشهدی و رقم دانه ریز ناز) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با 12 تیمار و چهار تکرار در شهرستان خلخال (مزرعه شخصی) در سال 1391 به اجرا در آمد. نتایج نشان داد اثر میکوریزا بر صفات وزن خشک ریشه، درصد کلونیزاسیون ریشه و وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. بیشترین وزن خشک ریشه، درصد کلونیزاسیون ریشه و وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی در مصرف میکوریزا *Glomus mosseae* حاصل گردید. همچنین اثرآزوسپریلیوم بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح 1% معنی‌دار بود و بر روی صفات دیگر معنی‌دار نگردید. بین ارقام مختلف عدس تفاوت معنی‌داری در صفات مورد مطالعه ریشه وجود نداشت. همچنین در بررسی اثرات متقابل معلوم گردید که اثر متقابل *آزوسپریلیوم* و ارقام عدس بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح 5% ، اثر متقابل میکوریزا و ارقام عدس بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح 1% و اثرات متقابل سه‌گانه *آزوسپریلیوم*، میکوریزا و ارقام عدس بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح 5% معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها مبین آن بود که بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه مربوط به تیمار مصرف *Azospirillum*، مصرف میکوریزا *Glomus mosseae* و رقم ناز (46/19%) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: باکتری، قارچ، کودهای آلی، کلونیزاسیون

مقدمه

در حال حاضر رشد سریع جمعیت جهانی و نیاز روزافزون به غذا و دیگر نیازمندی‌هایی که از راه کشاورزی حاصل می‌شود، منجر به افزایش بهره‌برداری از خاک شده و پیامد آن عدم فرصت کافی به خاک جهت ترمیم و بازسازی و درنتیجه کاهش کمی و کیفی حاصلخیزی خاک و ناهنجاری‌های زیست‌محیطی می‌باشد. در طی چند دهه گذشته مصرف کودهای آلی و بیولوژیک تنزل داشته ولی مشکلات ناشی از این کاهش و مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و پیامدهای پر خطر آن‌ها، استفاده مجدد از کودهای بیولوژیک را مطرح نموده است (Al-Karaki et al., 2004).کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا تقلیل چشمگیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه‌حل مطلوب جهت غلبه بر این مشکلات به شمار می‌آید. کودهای زیستی حاوی مواد نگهدارنده‌ای با جمعیت متراکم یک یا چند نوع ارگانیسم مفید خاکزی و یا به صورت فراورده متابولیک این موجودات می‌باشند که به منظور بهبود حاصلخیزی خاک و عرضه مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در یک سیستم کشاورزی پایدار به کار می‌روند (Safir, 1987). مدیریت مصرف کود یک عامل مهم در موفقیت کشت گیاهان می‌باشد و در این بین شناسایی کودهای بیولوژیک سازگار با طبیعت و مناسب برای رشد و نمو گیاهان می‌تواند اثرات مطلوبی بر شاخص‌های کمی و کیفی محصول داشته باشد. از جمله این کودهای بیولوژیک، قارچ‌های

1، 2، 3 و 4- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار، استاد و استادیار گروه زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
(*- نویسنده مسئول: Email: Aghayari_ir@yahoo.com)

میکوریزا و باکتری‌های آزوسپریلیوم هستند. یکی از راه‌های دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از میکروارگانیسم‌هایی است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی گیاهان دارند. گرچه استفاده از کودهای بیولوژیک در کشاورزی قدمت زیادی دارد، ولی بهره‌برداری علمی از این گونه منابع سابقه چندانی ندارد. استفاده از کودهای بیولوژیک علاوه بر تأثیرات مثبتی که بر کلیه خواص خاک دارند، بر جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نیز مفید و موثر می‌باشد (Astaraei & Koochaki, 1995). قارچ‌های میکوریزایی دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی می‌باشند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، بهبود ساختمان خاک، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Azcon & Atrash, 1997; Cox & Tinker, 1976; Ojala & Jarrell, 1983; Annaduraia et al., 2002; Sharma, 2002). با توجه به تحقیقات انجام شده علاوه بر فسفر، نیتروژن نیز جزء عناصری است که گیاهان میکوریزایی جذب آن را بالا برده‌اند (Hamel, 1991). هیف‌های گیاهان میکوریزایی این توانایی را دارند که نیتروژن خاک را جذب و به ریشه گیاهان منتقل کنند (George et al., 1995). باکتری‌های جنس *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه هستند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن، با تولید مقادیر قابل ملاحظه هورمون‌های تحریک‌کننده رشد، به ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکسین رشد و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zahir et al., 2004). باکتری *آزوسپریلیوم* که قابلیت همزیستی با ریشه غلات را دارند، ضمن تثبیت بیولوژیک نیتروژن در بسیاری از گیاهان باعث افزایش تقسیم سلولی در ریشه، تغییر مورفولوژی ریشه و افزایش تارهای کشنده می‌گردد (Bashan & Dubrovsky, 1996; Chalk, 1991; Kennedy & Smith, 1995). از ویژگی‌های مفید باکتری *آزوسپریلیوم* می‌توان به تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه و در نتیجه بهبود جذب آب و عناصر غذایی و افزایش حلالیت فسفات‌های نامحلول اشاره کرد (Seshadri et al., 2000). عدس (*Lens culinaris* Medik.) از جمله مهم‌ترین حبوبات در سطح دنیاست و به عنوان یک محصول زراعی مهم در مناطق نیمه خشک مدیترانه‌ای، جنوب آسیا، شبه قاره هند و آمریکای جنوبی و ایران کشت می‌گردد. بذر این گیاه به عنوان منبع با ارزشی از پروتئین (20 تا 36 درصد) نقش حیاتی در تغذیه مردم به ویژه کشورهای در حال توسعه دارد. همچنین این گیاهبا تثبیت نیتروژن حاصلخیزی خاک را بهبود می بخشد، لذا می‌تواند به عنوان یک گیاه مناسب جهت تناوب با غلات کشت گردد (Christos, 1993). گیاهان دارای همزیستی میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی آب را از خاک سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌سازند و باعث می‌شود تا پتانسیل آب خاک کاهش بیشتری پیدا کند، زیرا در گیاهان میکوریزایی معمولاً اندام هوایی گیاه توسعه بیشتری پیدا کرده، سطح برگ‌ها افزایش یافته و این خود باعث افزایش نیاز تعرقی گیاهان میکوریزایی می‌شود. از طرف دیگر سیستم ریشه‌ای در گیاهان میکوریزایی توسعه بیشتری یافته و بیشتر از ریشه گیاهان غیرمیکوریزایی منشعب می‌شود. همگی این عوامل باعث می‌شود که ریشه‌های میکوریزایی سطح تماس بیشتری با خاک پیدا کرده و بدین صورت سریع‌تر آب را از خاک جذب نماید (Gao et al., 2001). الکراکی و همکاران (AL-Karaki et al., 1997) بیان داشتند که گیاهان میکوریزایی به ازای تولید هر واحد ماده خشک آب کمتری مصرف می‌کنند. به عبارت دیگر، کارآیی مصرف آب بالاتری دارند. تأکید این محققین بر این است که کارآیی مصرف آب در گیاهان میکوریزاییدر شرایط تنش خشکی محسوس‌تر است. پانوار (Panwar, 1993) اثر تلقیح با قارچ‌های میکوریزایی وزیکولارآربوسکولار (Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza)(VAM) و *آزوسپریلیوم* را بر روی وضعیت آب و عملکرد دانه گندم در شرایط تنش آبی مورد بررسی قرار دادند. تلقیح مرکب سبب افزایش محتوی نسبی آب برگ، سطح برگ و غلظت کلروفیل شد. همچنین بیوماس و عملکرد دانه در شرایط تنش آبی در تیمار تلقیح مرکب بیشتر از سایر تیمارها و کمترین عملکرد دانه در تیمار شاهد (بدون تلقیح) حاصل گردید. گوپتا و همکاران (Gupta et al., 2002) گزارش کردند که تلقیح گیاه نعناع (*Mentha piperita* L.) با قارچ میکوریزای VAM به طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد بیولوژیک و درصد همزیستی ریشه را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، افزایش داد. همچنین در پژوهشی که توسط سوبرامانیان و همکاران (Subramanian et al., 2006) بر روی گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) انجام گرفت، مشخص گردید که همزیستی ریشه گوجه‌فرنگی با یک گونه از میکوریزا، باعث افزایش معنی‌دار تعداد گل در بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید.

مطالعات انجام شده در خصوص کاربرد کودهای بیولوژیک بیشتر در مورد غلات و گیاهان علفی بوده است و در مورد حبوبات به خصوص عدس و آن هم در شرایط دیم تحقیقات بسیار اندک می باشد. در دیمکاری دسترسی گیاهان به آب خیلی کم است، لذا از کودهای بیولوژیک بخصوص قارچ میکوریزا و باکتری آزوسپریلیوم که باعث افزایش سطح جذب ریشه گیاهان شده و آب را از اعماق پایین‌تر برای گیاه جذب می‌کند، می‌توان استفاده کرد. هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان بهبود رشد ریشه گیاه عدس با استفاده از همزیستی میکوریزایی و همیاری *آزوسپریلیوم* تحت شرایط دیم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه شخصی در شهرستان خلخال با عرض جغرافیایی 37 درجه و 37 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 48 درجه و 32 دقیقه شرقی و با ارتفاع 1796 متر از سطح دریا به در سال زراعی 91-1390 اجرا درآمد. میانگین بارش سالیانه 370 میلی‌متر می‌باشد، اما مقدار بارندگی در سال زراعی مورد مطالعه 230 میلی‌متر طبق آمار هواشناسی سینوپتیک شهرستان خلخال ثبت گردید. قبل از کشت، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری نمونه‌برداری به عمل آمد (جدول 1). پژوهش با استفاده از آزمایش فاکتوریل سه عاملی شامل عامل تلقیح با قارچ میکوریزا (M) در سه سطح (M_0: عدم مصرف میکوریزا، M_1: مصرف گونه *گلوموس اینترارادیس* (*Glomus intraradices*) با جمعیت 10^5 اسپور در هر گرم و M_2: مصرف گونه *گلوموس موسه* (*Glomus mosseae*) با جمعیت 10^5 اسپور در هر گرم)، عامل باکتری *آزوسپریلیوم* (A) در دو سطح (A_0: عدم مصرف باکتری و A_1: مصرف باکتری *آزوسپریلیوم برازیلنس* (*Azospirillum brasilense*) با جمعیت 10^8 باکتری فعال در هر گرم $10^8 \frac{cfu}{g}$) و عامل رقم عدس (L) در دو سطح شامل دو رقم محلی (L_1: دانه درشت مشهدی و L_2: دانه ریز ناز) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. بذر عدس مورد استفاده در این تحقیق، از مرکز جهاد کشاورزی شهرستان خلخال فراهم گردید.

با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، عملیات تهیه زمین در فروردین-ماه سال 1391 و با مساعد شدن شرایط آب و هوایی انجام گردید. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف کاشت با فاصله ردیف 25 سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. کاشت عدس در 15 اردیبهشت ماه و پس از اینکه بخشی از بذرهای مورد نیاز با مایع تلقیح باکتری تلقیح شدند (یک لیتر با یک کیلوگرم بذر)، انجام گرفت. همچنین در هنگام کاشت در تیمارهای مربوط به مصرف قارچ میکوریزا، به میزان هر صد متر مربع یک کیلوگرم قارچ در زیر بذر قرار گرفت. لازم به ذکر است در این تحقیق به غیر از عامل‌های قارچ میکوریزا و باکتری *آزوسپریلیوم*، از هیچ کود دیگری استفاده نگردید. عملیات مبارزه با علف‌های هرز مزرعه به روش مکانیکی و به صورت دستی صورت گرفت. در این تحقیق صفات وزن خشک ریشه، درصد کلونیزاسیون ریشه و وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله شروع دانه-بندی 20 بوته از هر کرت به صورت تصادفی انتخاب شد و برای مطالعات ریشه استفاده گردید. برای تعیین وزن خشک ریشه، قسمت ریشه هر بوته جدا شده و با آب مقطر شستشو داده شد. سپس در داخل آون به مدت 48 ساعت و در دمای 75 درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

جدول 1- نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and Chemical properties of the soil in the experiment site

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture	رس (درصد) Clay (%)	سلیت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	فسفر (قسمت در میلیون) P (ppm)	پتاسیم (قسمت در میلیون) K (ppm)	نیتروژن (قسمت در میلیون) N (ppm)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)
0-30	0.5	8.1	رس Clay	41	22	37	9.45	318	0.16	1.5

به منظور اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها با میکوریزا، همزمان با برداشت بوته‌ها در مرحله دانه‌بندی از ریشه‌های آن‌ها به ویژه ریشه‌های مویین و نازک نمونه‌برداری به عمل آمد. سپس ریشه-ها به دقت با آب مقطر شستشو شده و از محلول FAA[1] برای تثبیت ریشه‌ها استفاده گردید. مراحل رنگ‌بری ریشه‌ها و سپس رنگ‌آمیزی آن‌ها طبق روش فیلیپس و هیمن (Philips & Hayman, 1970) صورت گرفت. ابتدا برای بی‌رنگ‌کردن ریشه‌ها از محلول 10 درصد KOH به مدت سه ساعت استفاده شد و بعد نمونه‌ها با آب مقطر به خوبی شستشو شدند. برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها از محلول حاوی 0/05 درصد تریپان بلو در لاکتوگلیسرول استفاده گردید. به منظور تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه عدس، از روش خطوط متقاطع[2] (Gridline Intersect Method) استفاده شد (Giovannetti & Mosse, 1980). بدین صورت که در مورد هر تیمار، ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به قطعات یک سانتی‌متری برش داده شدند و به همراه محلول رنگ‌بر لاکتوگلیسرول روی پلیت شیشه‌ای قرار داده شدند. سپس قطعات ریشه از نظر وجود اندام‌های قارچی در محل تلاقی خطوط افقی و عمودی کاغذ شطرنجی مورد استفاده قرار گرفت و نتایج به صورت درصد بیان شد. پس از محاسبه درصد کلونیزاسیون ریشه، وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی از طریق حاصل ضرب وزن خشک ریشه در درصد کلونیزاسیون ریشه تعیین گردید. جهت تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش ازنرم‌افزار آماری Mstat-C استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

وزن خشک ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیان‌گر آن بود که تأثیر عامل میکوریزا در سطح یک درصد بر وزن خشک ریشه معنی‌دار گردید، اما اثر دو عامل اصلی دیگر و اثرات متقابل میان عوامل تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشتند (جدول 2). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد مصرف میکوریزا باعث افزایش وزن خشک ریشه گیاه شده است، به طوری‌که بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به مصرف میکوریزا گونه *Glomus mosseae* با مقدار 4/76 گرم بر متر مربع و کمترین مقدار به عدم مصرف میکوریزا با مقدار 3/67 گرم بر متر مربع می‌باشد که نشان‌دهنده کارآیی مصرف میکوریزا در تجمع ماده خشک در ریشه گیاهان همزیست می‌باشد (جدول 3). میکوریزا فاصله انتشار عناصر غذایی به ریشه گیاه را کاهش داده و سطح جذب را افزایش می دهد (Rhodes & Gerdemann, 1980). می‌توان استنباط کرد که همزیستی میکوریزایی از طریق افزایش سطح جذب و تغذیه مناسب باعث بهبود رشد ریشه گیاه و افزایش وزن خشک ریشه می‌گردد.

درصد کلونیزاسیون ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مبین آن بود که اثر عوامل اصلی میکوریزا و *آزوسپریلیوم* و نیز اثر متقابل دو عامل میکوریزا و ارقام عدس در سطح یک درصد و همچنین اثر متقابل عوامل *آزوسپریلیوم* و ارقام عدس و نیز اثر متقابل هر سه عامل با هم در سطح پنج درصد بر درصد کلونیزاسیون ریشه معنی‌دار گردید (جدول 2). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین سطوح مختلف میکوریزا تفاوت قابل‌توجهی وجود دارد به طوری که کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح عدم مصرف میکوریزا (3/24 %) و بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح مصرف میکوریزا *Glomus mosseae* (44/56 %) در حدود 11/1 درصد بیشتر از مصرف میکوریزا *Glomus intraradices* (40/1%) به دست آمد (جدول 3). می‌توان استنباط کرد که مصرف میکوریزا، شرایط مناسبی را برای بهبود درصد همزیستی ریشه در عدس فراهم می‌آورد. در همین رابطه کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند. آن‌ها مشاهده نمودند که درصد کلونیزاسیون ریشه رازیانه در تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزایی *Glomus fasiculatum* (84%) و *Glomus macrocarpum* (80%) به طرز چشمگیری بیشتر از تیمار عدم تلقیح (10%) گردید. نتایج تحقیقات راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) و آریاگادا و همکاران (Arriagada et al., 2007) نیز موید این مطلب است. مقایسه میانگین‌ها بیان‌گر آن بود که بین سطوح مصرف *آزوسپریلیوم* اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به طوری که درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح مصرف *آزوسپریلیوم* (30/30%) درحدود 2/4 درصد بیشتر از عدم مصرف *آزوسپریلیوم* (29/59%)

1- Formalin Acetic Acid Alcohol
2- Gridline Intersect Method

گردید (جدول3). استنباط می‌شود وجود *آزوسپریلیوم* از طریق تحریک رشد ریشه عدس، موجب بهبود درصد همزیستی ریشه با میکوریزا می‌گردد. جنوا و همکاران (Geneva et al., 2006) در تحقیقات خود نشان دادند که مصرف میکوریزا و *آزوسپریلیوم* در محیط کشت نخود سبب بهبود همزیستی ریشه با میکوریزا و افزایش فعالیت تثبیت نیتروژن می‌شود. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل میکوریزا و ارقام عدس دارای اختلاف معنی‌داری بود، به نحوی که درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمارهای دارای عدم مصرف میکوریزا (به ترتیب 3/28 % و 3/21% در رقم مشهدی و ناز)، در تیمارهای مصرف میکوریزا *Glomus intraradices* (به ترتیب 40/15 % و 40/05%) و در تیمارهای مصرف میکوریزا *Glomus mosseae* (به ترتیب 43/12% و 45/36%) بود (شکل 1). این اثر معنی‌دار در تیمار مصرف میکوریزا *Glomus mosseae* و رقم ناز (45/36%) در مقایسه با تیمار عدم مصرف میکوریزا بیشتر بارز بود. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آزوسپریلیوم و ارقام عدس نیز دارای اختلاف معنی‌داری بود به نحوی که درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار مصرف *آزوسپریلیوم* و رقم ناز (30/65%) بیشترین و در تیمار عدم مصرف *آزوسپریلیوم* و رقم ناز (29/31%) کمترین مقدار به دست آمد (شکل 2). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل هر سه عامل نیز اختلاف معنی‌داری را نشان داد و مشاهده گردید که با کاربرد توأم سطوح مختلفی از سه عامل، در برخی از تیمارها بر درصد کلونیزاسیون ریشه افزوده شد، به نحوی که درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار مصرف میکوریزا *Glomus mosseae*، مصرف *Azospirillum* و رقم ناز (46/19%) برتری بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشت (شکل 3). استنباط می‌شود که مصرف توأم برخی از مقادیر هر سه عامل سبب بروز یک اثر تشدید کننده بر همزیستی میکوریزایی با ریشه گیاه میزبان می‌شود و متعاقب آن درصد کلونیزاسیون ریشه بهبود می‌یابد. نتایج مطالعات برخی محققین نظیر عمر (Omar, 1998)، هازاریکا و همکاران (Hazarika et al., 2002) و راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) نیز موید یک رابطه افزایشی بین کودهای زیستی بر درصد همزیستی ریشه می‌باشد.

جدول 2- تجزیه واریانس وزن خشک ریشه، درصد کلونیزاسیون ریشه و وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی

Table 2- Analysis of variance (ANOVA) for root dry weight, percentage of root colonization and Mycorrhizal root dry weight

میانگین تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)		
		وزن خشک ریشه Root dry weight	درصد کلونیزاسیون ریشه Percentage of root colonization	وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی Mycorrhizal root dry weight
تکرار Replication	3	0.061	0.420	0.072
میکوریزا (M) Mycorrhiza (M)	2	6.088^{**}	725.352^{**}	0.113^{**}
آزوسپریلیوم (A) Azospirillum (A)	1	0.000^{ns}	6.978^{**}	0.001^{ns}
رقم عدس (L) Lentil Cultivar (L)	1	0.033^{ns}	0.006^{ns}	0.202^{ns}
A×M	2	0.010^{ns}	0.008^{ns}	0.011^{ns}
M×L	2	0.150^{ns}	6.850^{**}	0.018^{ns}
A×L	1	0.125^{ns}	3.983^{*}	0.202^{ns}
A×M×L	2	0.034^{ns}	2.865^{*}	0.211^{ns}
خطا Error	33	0.064	0.567	0.087

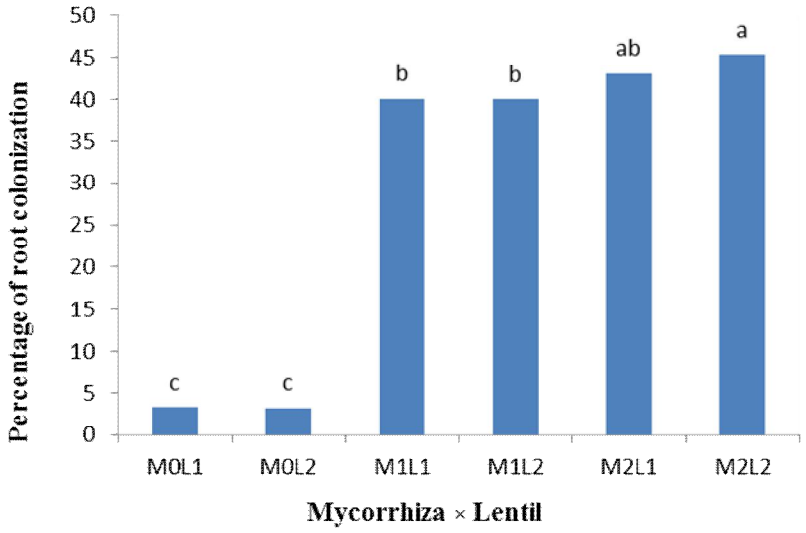
ns، * و **: به ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد و یک درصد

*and **: significantly at $p < 0.05$ and < 0.01, respectively; ns = non-significant

جدول 3- مقایسه میانگین اثرات اصلی میکوریزا، *آزوسپریلیوم* و ارقام عدس بر روی وزن خشک ریشه، درصد کلونیزاسیون ریشه و وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی

Table 3- Mean comparison of the main effects of Mycorrhiza, Azospirillum and Lentil cultivars on root dry weight, percentage of root colonization and Mycorrhizal root dry weight

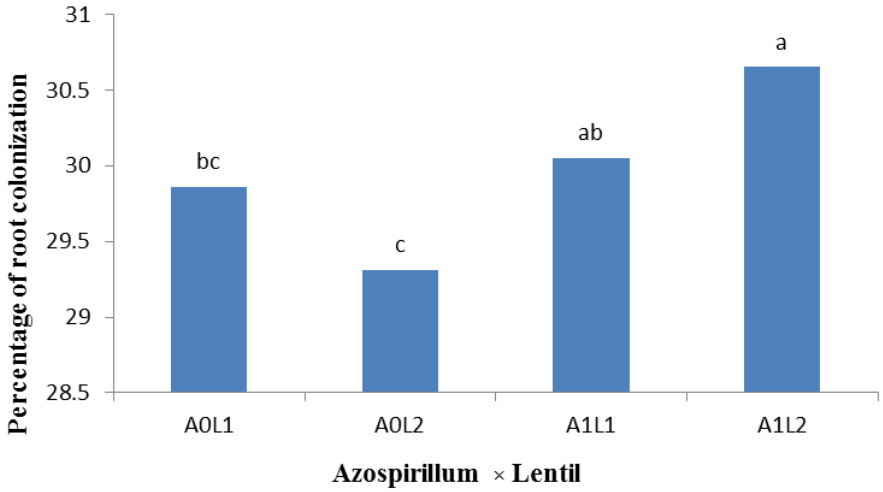
		میانگین (Mean)		
	تیمارها Treatments	وزن خشک ریشه (گرم بر مترمربع) Root dry weight $g.m^{-2}$	درصد کلونیزاسیون ریشه Percentage of root colonization	وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی (گرم بر مترمربع) Mycorrhizal root dry weight $g.m^{-2}$
میکوریزا Mycorrhiza	بدون مصرف (M_0) None-use (M_0)	3.67[b]	3.24[c]	0.12[b]
	گلوموس اینترارادیس (M_1) *Glomus intraradices* (M_1)	4.72[a]	40.10[b]	1.88[a]
	گلوموس موسه (M_2) *Glomus mosseae* (M_2)	4.76[a]	44.56[a]	2.09[a]
آزوسپریلیوم *Azospirillum*	بدون مصرف (A_0) None- use (A_0)	4.38[a]	29.59[b]	1.29[a]
	تلقیح *آزوسپریلیوم برازیلنس* (A_1) *Azospirillum brasilense* (A_1)	4.39[a]	30.30[a]	1.33[a]
رقم عدس Lentil cultivar	مشهدی (L_1) Mashhadi (L_1)	4.36[a]	29.96[a]	1.30[a]
	ناز (L_2) Naz (L_2)	4.41[a]	29.98[a]	1.32[a]



M0:None-use M1:*Glomus intraradices* M2:*Glomus mosseae*
L1:Mashhadi cultivar L2:Naz cultivar

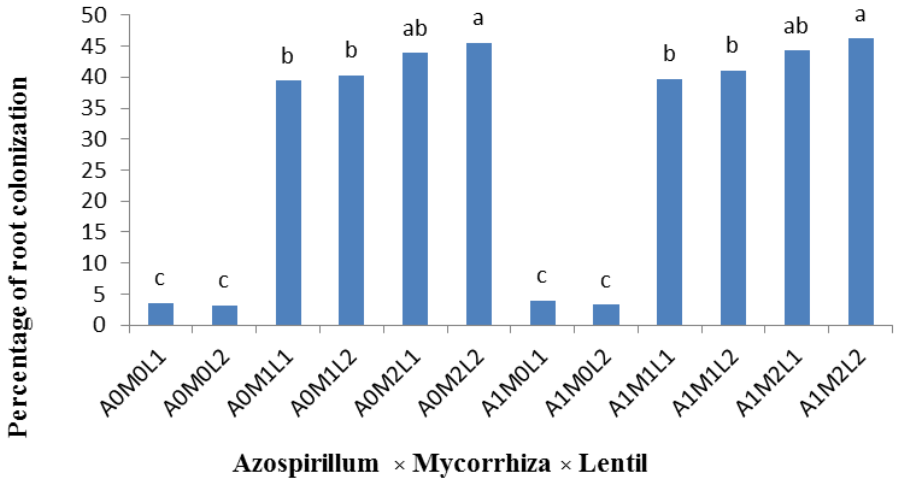
شکل 1- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ میکوریزا در ارقام عدس بر روی درصد کلونیزاسیون ریشه

Fig. 1- Mean comparison of Mycorrhiza × Lentil cultivars interaction on percentage of root colonization



شکل 2- مقایسه میانگین اثر متقابل *آزوسپریلیوم* در ارقام عدس بر روی درصد کلونیزاسیون ریشه

Fig. 2- Mean comparison of Azospirillum × Lentil cultivars interaction on percentage of root colonization



شکل 3- مقایسه میانگین اثر متقابل *آزوسپریلیوم* در میکوریزا در ارقام عدس بر روی درصد کلونیزاسیون ریشه

Fig. 3- Mean comparison of Azospirillum × Mycorrhiza × Lentil cultivars interaction on percentage of root colonization

وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس گویای آن بود که تأثیر عامل میکوریزا در سطح یک درصد بر وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی معنی‌دار می‌باشد، اما اثرات عوامل مختلف دیگر تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (جدول 2). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد بیشترین وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی مربوط به مصرف میکوریزا گونه *Glomus mosseae* با مقدار 2/09 گرم بر متر مربع و کمترین مربوط به سطح عدم مصرف میکوریزا با مقدار 0/12 گرم بر متر مربع به دست آمد (جدول3). ریشه‌های میکوریزایی تراکم بیشتری نسبت به ریشه گیاهان غیر میکوریزایی دارند. همچنین در این گیاهان هیف-

های خارج ریشه‌ای قارچ می‌تواند تا فاصله 120 سانتیمتری از ریشه نفوذ نماید. حضور شبکه میسلیوم‌های قارچی در اطراف ریشه باعث می‌شود که حجم بیشتری از خاک را کنکاش نموده و فسفر و عناصر غذایی را در فاصله دورتر از ریشه جذب و به اندام هوایی منتقل نماید. حضور هیف‌های خارج ریشه در گیاهان میکوریزایی سبب افزایش سطح جذب ریشه به مقدار 98/3 درصد می‌شود (Rousseau & Reid, 1991).

نتیجه‌گیری

مصرف میکوریزا باعث بهبود وزن خشک ریشه، درصد کلونیزاسیون ریشه و وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی در گیاه عدس گردید. همچنین کاربرد *آزوسپریلیوم* باعث افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه شد.کاربرد توأمان میکوریزا و *آزوسپریلیوم* باعث هم‌افزایی و افزایش همزیستی ریشه گیاه عدس گردید. با توجه به این‌که رشد ریشه گیاه عدس از طریق مصرف کودهای آلی مورد مطالعه در شرایط دیم و تنش خشکی بهبود پیدا کرده است، لذا انتظار می‌رود با بهبود رشد ریشه عدس عملکرد محصول نیز افزایش پیدا کند که البته بایستی در یک تحقیق جداگانه‌ای آن را مورد مطالعه قرار داد. برای بررسی دقیق‌تر می‌توان این تحقیق را در مناطق دیگر و در شرایط مختلف آب و هوایی انجام داد.

منابع

Al-Karaki, G., McMichael, B., and Zak, J. 2004. Field response of wheat to *arbuscular mycorrhizal* fungi and drought stress. Mycorrhiza 14: 263-269.

AL-Karaki, G.N., and Al-Raddad, A. 1997. Effects of *arbuscular mycorrhizal* fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. Mycorrhiza 7: 83-88.

Annaduraia, G., Juang, R.S., and Lee, D.J. 2002. Microbiological degradation of phenol using mixed Liquors of pseudomonas putida and activated sludge. Waste Management 22: 703-710.

Arriagada, C.A., Herrena, M.A., and Ocampo, J.A. 2007. Beneficial effect of saprobe and *arbuscular mycorrhizal* fungi on growth of *Eucalyptus globules* co-cultured with Glycine max in soil contaminated with heavy metals. Journal of Environmental Management 84: 93-99.

Astaraei, A., and Koochaki, A. 1995. Application of Biological Fertilizers in Sustainable Agriculture, Mashhad University, Iran 250 pp. (In Persian)

Azcon, R.E., and Atrash, F. 1997. Influence of *arbuscular mycorrhizae* and phosphorus fertilization on growth, nodulation and N2 fixation (N15) in *Medicago sativa* at four salinity levels. Biology and Fertility of Soils 24: 81-86.

Bashan, Y., and Dubrovsky, J.G. 1996. *Azosprillum* spp. participation in dry matter partitioning in grasses at the whole plant level. Biology and Fertility of Soils 22: 435-440.

Chalk, P.M. 1991. The contribution of associative and symbiotic nitrogen fixation to the nitrogen nutrition of non-legumes. Plant and Soil 132: 29-39.

Christos, P. 1993. Biotechnology of crop legumes. Euphytica 74: 165-185.

Cox, G., and Tinker, P.U.B. 1976. Translocation and transfer of nutrients in vesicular mycorrhiza. The Arbuscule and Phosphorus Transfer. New Phytologist 77: 371-378.

Gao, L.L., Delp, G., and Smith, S.E. 2001. Colonization patterns in a mycorrhiza-defective mutant tomato vary with different *arbuscular mycorrhizal* fungi. New Phytologist 151: 477-491.

Geneva, M., Zehirov, G., Djonova, E., Kaloyanova, N., and Georgie, G. 2006. The effect of inoculation of Pea plant with mycorrhizal fungi and Rhizobium on nitrogen and phosphorus assimilation. Plant, Soil and Environment 52(10): 435-440.

George, E., Marschner, H., and Jakobsen, I. 1995. Role of *Arbuscular mycorrhizal* fungi in the uptake of phosphorus and nitrogen from soil. Critical Review of Biotechnology 15: 257-270.

Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation the effect of vesicular-*arbuscular mycorrhiza* infection in roots. New Phytologist 84: 489-500.

Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M., and Kumar, S. 2002. Effect of the vesicular-*arbuscular mycorrhizal* (VAM) fungus *Glomus fasiculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Bioresource Technology 81: 77-79.

Hamel, C., and Smith, D.L. 1991.Interspectific N transfer and plant development in a mycorrhizal field-grown

mixture. Soil Biology and Biochemistry 23: 661-665.

Hazarika, D.K., Talukdar, N.C., Phookan, A.K., Saikia, U.N., Das, B.C., and Deka, P.C. 2002. Influence of vesicular *arbuscular mycorrhizal* fungi and phosphate solubilizing bacteria on nursery establishment and growth of tea seedling in Assam. 17 World Congress of Soil Science, Bangkok (Thailand) p. 379.

Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in foeniculumvulgare mill on mycorrhizal inoculation supplemented with p-fertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.

Kennedy, A.C., and Smith, K.L. 1995. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. Plant and Soil 170: 75-86.

Ojala, J.C., and Jarrell, W.M. 1983. Hydroponic sand culture systems for mycorrhizal research. Plant and Soil 57(2-3): 297-303.

Omar, S.A. 1998. The role of rock-phosphate fungi and vesicular *arbuscular mycorrhiza* (VAM) in the growth of wheat plants fertilized with rock phosphate. World Journal of Microbiology and Biotechnology 14:211-218.

Panwar, J.D.S. 1993. Response of VAM and *Azospirillum* inoculation to water status and grain yield in wheat under water stress condition. Indian Journal of Plant Physiology 36: 41-43.

Philips, J.M., and 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: 158-161.

Ratti, N., Kumar, S., Verma, H.N., and Gautam, S.P. 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. motia by rhizobacteria, AFM and azospirillum inoculation. Microbiology Research 156: 145-149.

Rhodes, L.H., and Gerdemann, J.W. 1980. Nutrient translocation invesicular- *arbuscular mycorrhizae*. In C.B. Cook, P.W. Pappas, E.D. Rudolph, eds, Cellular Interactions in Symbiosis and Parasitism. Ohio State University Press, Columbus, p. 173-195

Rousseau, J.V.D., and Reid, C.P.P. 1991. Effects of phosphorus fertilization and mycorrhizal development on phosphorus nutrition and carbon balance of loblolly pine. New Phytologist 117: 319-326.

Safir, G.R. 1987. Ecophysiology of VA. Mycorrhizal Plants 9: 172-192.

Seshadri, S., Muthukumarasamy, R., Lakshminarasimhan, C., and Ignacimuthu, S. 2000. Solubilization of inorganic phosphates by *Azospirillum halopraeferans*. Current Science 79: 565-567.

Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agro Bios, India. p. 407.

Subramanian, K.S., Santhanakrishnan, P., and Balasubramanian, P. 2006. Responses of field growth tomato plants to *arbuscular mycorrhizal* fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientica Horticulturae 107: 245-253.

Zahir, A.Z., Arshad, M., Franken Berger, W.F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy 81: 97-168.