نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 7، شماره 1، بهار 1394، ص. 37-20

Journal of Agroecology
Vol. 7, No. 1, Spring 2015, p. 20-37

بررسی اثر تلقیح با میکوریزا و حجم‌های آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس دو گونه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) و زنیان(*Trachyspermum ammi* L.)

علیرضا کوچکی[1*]، جواد شباهنگ[2]، سرور خرم‌دل[3] و فرزاد نجفی[4]

تاریخ دریافت: 1390/11/25
تاریخ پذیرش: 1391/05/20

چکیده

به منظور بررسی اثر تلقیح با میکوریزا و سطوح مختلف آبیاری بر رشد، عملکرد کمی و کیفی رازیانه(*Foeniculum vulgare* Mill.) و زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی 89-1388 و 90-1389 به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تلقیح با میکوریزا در دو سطح (با تلقیح و بدون تلقیح) وحجم‌های آبیاری در سه سطح (1000، 2000 و 3000 مترمکعب در هکتار) به ترتیب به عنوان فاکتور اول و دوم در نظر گرفته شدند. صفات مورد بررسی شامل اجزای عملکرد (از جمله تعداد شاخه جانبی، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک و وزن هزار دانه)، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و درصد اسانس هر دو گونه بود. نتایج نشان داد که اثر ساده تلقیح با میکوریزا و حجم‌های آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، اجزای عملکرد، درصد اسانس و عملکرد اسانس رازیانه و زنیان معنی‌دار ($p\leq0/01$) بود. در شرایط تلقیح با میکوریزا عملکرد بیولوژیکی رازیانه و زنیان به ترتیب 5/03 و 4/3 گرم بر متر مربع بود. همچنین همزیستی با قارچ میکوریزا موجب بهبود عملکرد دانه رازیانه و زنیان به ترتیب به میزان 46 و 97 درصد در مقایسه با شاهد شد. در شرایط تلقیح با میکوریزا درصد اسانس رازیانه و زنیان به ترتیب 4/2 و 3/0 درصد بود. بیشترین و کمترین عملکرد دانه رازیانه و زنیان به ترتیب برای حجم آبیاری 3000 مترمکعب در هکتار (به ترتیب با 1/6 و 0/9 گرم بر متر مربع) و 1000 مترمکعب در هکتار (به ترتیب با 1/4و 0/7 گرم بر متر مربع) به دست آمد. بیشترین میزان اسانس رازیانه و زنیان (به ترتیب با 4/0 و 3/4 درصد) در حجم آبیاری 1000 مترمکعب و کمترین میزان آن در حجم آبیاری 3000 مترمکعب در هکتار (به ترتیب با 3/2 و 2/9 درصد) مشاهده شد. اثر متقابل حجم‌های آبیاری و تلقیح با قارچ میکوریزا بر عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و برخی اجزای عملکرد رازیانه (تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد چتر در شاخه جانبی، تعداد چترک در چتر و تعداد دانه در چترک) و زنیان (تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک و وزن هزار دانه) معنی‌دار ($p\leq0/05$) بود. تلقیح با میکوریزا به دلیل تولید انواع هورمون‌ها و مواد بیولوژیکی محرک رشد گیاه و همچنین بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای باعث فراهمی رطوبت و دسترسی به عناصر غذایی به ویژه فسفر گردید که در نتیجه بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد را به دنبال داشت. افزایش حجم آبیاری با بهبود رشد رویشی و سطح فتوسنتز کننده باعث افزایش سرعت فتوسنتز و بهبود سطح برگ شد.

واژه‌های کلیدی: کود بیولوژیکی، گیاه دارویی، همزیستی

مقدمه

کاشت گیاهان دارويي از ديرباز داراي جايگاه ويژه‌اي در نظام‌هاي سنتي ايران بوده و اين نظام‌ها از نظر ايجاد تنوع و پايداري نقش مهمي ايفاء كرده‌اند. گیاهان دارویی از زمان‌های دور برای درمان بیماری‌های مختلف استفاده می‌شدند (Lupez-Lutz et al., 2008). امروزه تقاضا برای گیاهان دارویی در طب سنتی و مدرن در حال افزایش است (Hecl & Susrikova, 2006). بنابر گزارش سازمان بهداشت جهانی امروزه بیش از ۸۰ درصد مردم جهان برای درمان بیماری‌های مختلف به طب سنتی وابسته می‌باشند. از جمله دلایل مهم اهمیت گیاهان دارویی می‌توان به عدم امکان تولید بسیاری از مواد مؤثره گیاهی با استفاده از روش‌های مصنوعی و نیز عدم وجود تأثیرات جانبی منفی در داروهای گیاهی اشاره نمود (Omidbeygi, 1995). بدین ترتیب، اهمیت گیاهان دارویی به علت وجود متابولیت‌های

1، 2، 3 و 4- به ترتیب استاد، دانشجوی دکتری بوم شناسی زراعی، استادیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)

ثانویه است. میزان این متابولیت‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی، میزان رطوبت و حاصلخیزی خاک می‌باشد (Omid Beygi, 1995). در این میان، نتایج برخی بررسی‌ها (Jones & Corlett, 1992; Munns, 2002) نشان داده است که میزان رطوبت خاک یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان می‌باشد.

از آن‌جا که تأثیر تنش رطوبت بر رشد و نمو گیاهان در تمام مراحل رشد یکسان نیست و برخی از مراحل نسبت به افزایش تنش آب حساس‌تر می‌باشد، لذا تطبیق زمان آبیاری با دوره‌های بحرانی رشد گیاه و استفاده از حجم‌های مناسب آبیاری، برای دستیابی به حداکثر عملکرد ضرورت دارد. آلکایر و همکاران (Alkire et al., 1993) اثر آبیاری زیاد، کم و عدم آبیاری را بر رشد و عملکرد نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) بررسی و مشاهده کردند که تنش آبی طول میانگره‌ها، ارتفاع گیاه و وزن خشک برگ، ساقه و ریشه را کاهش داد. در همین راستا نتایج تحقیقات انجام شده بر روی تعدادی از گیاهان دارویی از جمله زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) (Jangir & Sing, 1996)، گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) (Surendra et al., 1994) و ریحان (*Oimum basilicum* L.) (Hasani & Omid Beygi, 2002) نیز نشان داده است که آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد داشت. لذا چنین به نظر می‌رسد که آبیاری کافی و به موقع، رشد کامل گیاه را به همراه دارد.

علاوه بر تأثیر زیاد آبیاری بر رشد و عملکرد کمی گیاهان دارویی، نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که به دلیل تأثیر آب بر تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی، آبیاری و مدیریت آن بر اساس حجم و زمان آبیاری می‌تواند تأثیر به سزایی بر خصوصیات کیفی این گیاهان داشته باشد. در همین راستا، نتایج بررسی‌های رزمجو و همکاران (Razmjoo et al., 2008) نشان داد که اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات رویشی، زایشی و درصد اسانس بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) معنی‌دار بود. سینگ و همکاران (Sing et al., 2002) کاهش محتوی اسانس گونه دارویی نعناع هندی (*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.) با افزایش حجم آبیاری را گزارش نمودند. ازترک و همکاران (Ozturk et al., 2004) گزارش نمودند که با افزایش تنش آب، محتوی اسانس بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) افزایش یافت. هولترز و همکاران (Holtzer et al., 1988) بیان داشتند که گونه‌ها و ژنوتیپ‌های گیاهی و میزان آبیاری (بسته به حجم آب مورد استفاده) می‌توانند اثرات محرک و بازدارنده‌ای بر میزان تولید متابولیت‌های برگ داشته باشند. در این راستا، شبیه و همکاران (Shabih et al., 1999) گزارش نمودند در شرایطی که کمبود رطوبت اثر محدودکنندگی بر رشد و بقای گیاهی نداشته باشد، تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس به وسیله کاهش میزان آبیاری افزایش می‌یابد. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که بتوان با استفاده از مدیریت عوامل زراعی به ویژه آبیاری، رشد و تولید کمی و کیفی گیاهان دارویی را تحت تأثیر قرار داد.

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر بهبود رشد و عملکرد گیاهان، بهبود میزان حاصلخیزی خاک می‌باشد. عناصر غذایی نه تنها بر بهبود کمیت محصول از جمله گیاهان دارویی مؤثرند، بلکه کیفیت محصول را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. وجود خواص کاهندگی و هم‌افزایی بین میزان عناصر غذایی در خاک، منجر به بروز تغییراتی در میزان جذب برخی عناصر برای گیاه می‌شود که اغلب اوقات این عناصر برای تولید اسانس و مواد مؤثره در گیاهان دارویی، نامناسب می‌باشند. بنابراین توصیه کودی برای گیاهان دارویی، باید با در نظر گرفتن موارد فوق صورت گیرد، زیرا اگر چه ممکن است استفاده از کودهای مختلف افزایش محصول را موجب گردد، ولی میزان ماده مؤثره را کاهش دهد و یا تغییراتی در اجزای متشکله این مواد ایجاد نماید که در نهایت تأثیر نامطلوبی را بر کیفیت این گیاهان داشته باشد (Omid Beygi, 1995).

یکی از عناصر غذایی ضروری برای بهبود رشد کیفی و کمی گیاهان فسفر می‌باشد. در همین راستا، وانس و همکاران (Vance et al., 2003) بیان داشتند که کمبود فسفر باعث کاهش ۴۰-۳۰ درصدی عملکرد شد. ساردانس و همکاران (Sardans et al., 2005) فراهمی فسفر را بر رشد و گلدهی رزماری (*Rosemarinus officinalis* L.) بررسی و گزارش نمودند که افزایش فسفر باعث بهبود خصوصیات رشدی این گونه دارویی شده و تأثیر مثبتی بر گلدهی آن داشت. اگر چه استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند باعث بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد گیاهان شود، ولی با توجه به افزایش هزینه‌های تولید، آلودگی‌های زیست محیطی و همچنین تأثیر سوء کودهای شیمیایی بر خصوصیات کیفی گیاهان دارویی، استفاده از کودهای آلی برای بهبود حاصلخیزی خاک ضروری و مفید به نظر می‌رسد.

بدین‌ترتیب، با توجه به تأثیر منفی کودهای شیمیایی بر کیفیت گیاهان دارویی (Omid Beygi, 1995; Omid Beygi, 1997) و همچنین از آن‌جا که فرآیندهای بیوشیمیایی این گیاهان که تعیین‌کننده کیفیت محصول می‌باشد به میزان زیادی تحت تأثیر میزان رطوبت و عناصر غذایی موجود در خاک می‌باشد (Sardans et al., 2005; Surendra et al., 1994; Vance et al., 2003)، استفاده از انواع نهاده‌های آلی

می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای بوم‌شناختی مؤثر بر بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاهان دارویی مدنظر قرار گیرد. از جمله حاصلخیزکننده‌های آلی که می‌تواند در این زمینه مورد استفاده قرار گیرد، کودهای زیستی می‌باشند. در بین میکروارگانیسم‌هایی که توانایی همزیستي با گیاهان را دارند، می‌توان به قارچ میکوریزا اشاره کرد.

میکوریزا به عنوان جزء کلیدي در بوم‌نظام‌هاي زراعي، اثرات مثبتي بر بهبود خصوصیات کمي و کیفي گیاهان همزیست دارد. افزایش سطح فعال سیستم ریشه‌اي گیاه براي جذب بهتر مواد غذایي از خاك، به ویژه در شرایط پایین بودن میزان فسفر خاک (Kapoor et al., 2004; Kapoor et al., 2007)، بهبود فتوسنتز و عمکرد اسانس (Cardoso & Kuyper, 2006; Copetta et al., 2006; Richter et al., 2005; Morone-Fortunato & Avato, 2008)، افزایش کارآیي مصرف آب در گیاهان میزبان (Estrada-Luna & Davies, 2003)، افزایش مقاومت نسبت به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکي و شوري (Feng et al., 2002; Kothamasi et al., 2001; Pinior et al., 2005)، افزایش غلظت هورمون‌هاي گیاهي و محتواي کلروفیل (Cardoso & Kuyper, 2006)، افزایش مقاومت میزبان نسبت به حمله آفات و بیماري‌ها (El-Mougy & Abdel-Kader, 2007; Harrier & Watson, 2004) و بهبود ساختمان خاك (Celik et al., 2004; Oehl et al., 2004) نمونه‌هایي از نقش مثبت این قارچ بر گیاهان همزیست مي‌باشد. همزیستی با این قارچ همزیست باعث بهبود وضعیت آبی گیاهان می‌شود، به طوری‌که این افزایش در بوم‌نظام‌های خشکی نمود بیشتری دارد. برخی محققان، دلیل این بهبود را به کمبود دسترسی به آب و فسفر در این شرایط نسبت داده‌اند (Uhlmann et al., 2006). دیگر محققان، همچون آنتیونس و همکاران (Antunes et al., 2007) تلقیح با این ریزموجودات محلول-کننده فسفات را به عنوان راهکاری برای کاهش هزینه و انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی معرفی نموده‌اند. در همین راستا، کوپتا و همکاران (Copetta et al., 2006) نیز گزارش کردند که تلقیح گونه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) با سه گونه قارچ همزیست میکوریزا (*Gigaspora rosea* BEG 9, *Glomus mosseae* BEG 12, *Gigaspora margarita* BEG 34) باعث افزایش معني‌دار ارتفاع ساقه، تعداد و سطح برگ، زیست توده، طول و میزان انشعابات جانبي ریشه و میزان اسانس در مقایسه با شاهد شد. گیوپتا و همکاران (Gupta et al., 2002) نیز با بررسی اثر تلقیح با میکوریزا آرباسکولار- وزیکولار (VAM)[1] گونه Glomus intraradices بر کلونیزاسیون ریشه، رشد، عملکرد اسانس و جذب عناصر غذایی ارقام مختلف نعناع (*Mentha arvensis* L.) بیان داشتند که خصوصیات رشدی نظیر ارتفاع و عملکرد ماده خشک و محتوی و درصد اسانس، به طور معنی‌داری تحت تأثیر تلقیح قرار گرفت. آن‌ها با توجه به تخلیه بیشتر عناصر غذایی پرمصرف به ویژه فسفر از محیط ریزوسفر، دلیل این بهبود را به افزایش جذب این عناصر از خاک نسبت دادند.

بنابراین با توجه به موقعیت ایران از نظر اقلیمی، وجود بحران آب در این مناطق و همچنین اهمیت گیاهان دارویی، انجام مطالعه در این زمینه امری اجتناب ناپذیر است. از طرف دیگر، با توجه به تأثیر به سزای قارچ میکوریزا بر فراهمی فسفر خاک، توسعه سیستم ریشه‌ای گیاهان و به تبع آن افزایش محتوی آب قابل دسترس، آزمایشی با هدف بررسی اثر حجم‌های مختلف آبیاری و همزیستی میکوریزایی بر خصوصیات رشدی، عملکرد کمی و کیفی دو گونه دارویی رازیانه و زنیان در شرایط آب و هوایی مشهد طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تلقیح با قارچ همزیست میکوریزا و حجم‌های مختلف آبیاری بر رشد، عملکرد کمی و کیفی دو گونه دارویی رازیانه و زنیان، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (واقع در ۱۰ کیلومتري شرق مشهد با طول جغرافیایي E ۲۸′ ۵۹° ۵۹، عرض جغرافیایي N ۱۵′ ۳۶° ۳۶ و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در دو سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی و اجرا شد. در این آزمایش تلقیح با میکوریزا در دو سطح (با تلقیح و بدون تلقیح) و حجم‌های آبیاری در سه سطح (۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار) به ترتیب به عنوان عامل اول و دوم در نظر گرفته شدند.

قبل از اجرای آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک (نظیر میزان عناصر معدنی قابل دسترس (شامل نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم)، pH، EC و بافت خاک) نمونه‌برداری از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر محل اجرای آزمایش انجام شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۲×۳ متر و فاصله بین کرت‌ها و بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد.

عملیات کاشت گیاهان با فاصله بین ردیف و روی ردیف به ترتیب ۵۰ و ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. در هنگام کاشت گیاهان، ۲۰ گرم خاک حاوی قارچ میکوریزا (*Glomus*

1- Vesicular- Arbuscular Mycorrhizal

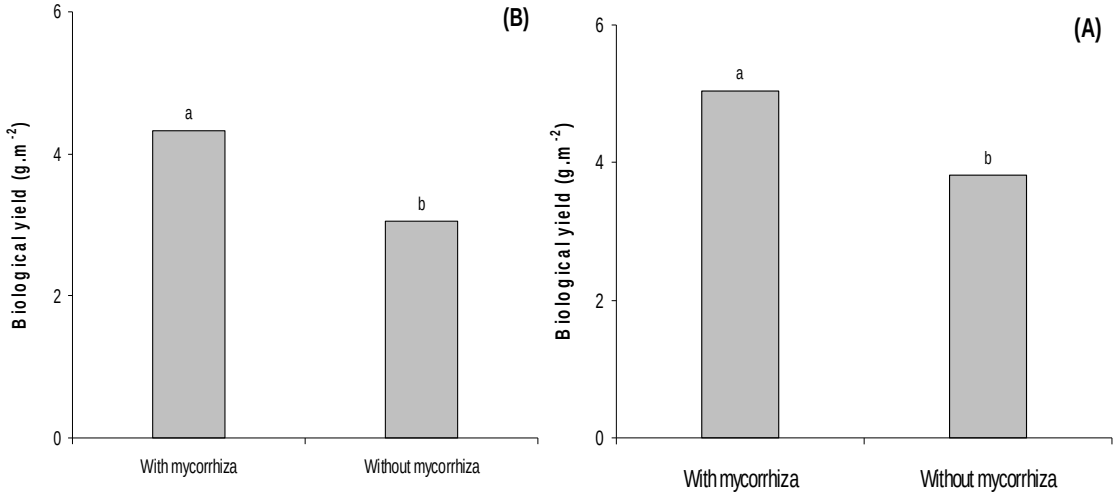
intraradices) به ازای هر بوته، در زیر بذرها قرار داده شد. جهت یکنواختی در سبز شدن گیاهان، اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی از یک ماه پس از سبز شدن کامل گیاهان، با توجه به حجم آبیاری تا پایان فصل رشد ادامه یافت. به منظور دستیابی به حجم‌های مورد نظر آب مورد نظر برای هر نوبت آبیاری از کنتور استفاده شد. جهت جلوگیري از اختلاط اثر تیمارها، آبیاري کرت‌ها و بلوک‌ها به طور کاملاً جداگانه انجام گردید. در طول فصل رشد، کنترل علف‌های هرز در سه نوبت (از مرحله پس از کاشت و به فاصله هر ۱۴ روز یکبار) از طریق وجین دستی انجام شد.

عملیات برداشت دو گیاه در زمان زرد شدن برگ‌ها و چترها انجام شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، اجزاي عملکرد (شامل تعداد شاخه جانبي، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک و وزن هزار دانه) اندازه‌گیري شد و با تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکي، شاخص برداشت گیاهان محاسبه گردید.

جدول 1- نتایج برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

Table 1- Soil physical and chemical properties

بافت خاک Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	پتاسیم در دسترس Available K	فسفر در دسترس Available P	نیتروژن کل Total nitrogen
			(میلی‌گرم در کیلوگرم) (ppm)		
سیلتی-لوم Silty-loam	8.02		115	9	387



شکل 1- اثر تلقیح با میکوریزا بر عملکرد بیولوژیکی (الف) رازیانه و (ب) زنیان

Fig. 1- Effect of mycorrhiza inoculation on biological yield of (A) fennel and (B) ajwain

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر تلقیح با میکوریزا و حجم‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی رازیانه

Table 2- Variance analysis (mean of squares) of mycorrhiza inoculation and different irrigation levels on fennel quantitative and qualitative characteristics

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	تعداد شاخه جانبی Branch number per plant	تعداد چتر در شاخه جانبی Umbel number per plant	تعداد چترک در چتر Umbelet number per umbel	تعداد دانه در چترک Seed number per umbelet	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	محتوی اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield
سال (L) Year (L)	1	0.171	0.168	0.124	1.845	11.290	0.020	71.768	3.907	12.662
تکرار× L Replication×L	4	0.009	0.004	0.012	0.027	0.008	0.013	8.123	0.183	0.703
میکوریزا (A) Mycorrhiza (A)	1	7.877**	38.316**	11.278**	38.95**	13.177**	2.873**	92.256**	13.518**	133.672**
سال×میکوریزا L×A	1	0.001	0.003	0.001	0.005	0.0001	0.057	533.656	0.348	0.327
آبیاری (B) Irrigation (B)	2	1.053**	2.130**	2.774**	5.948**	1.415**	0.179**	0.762^{ns}	1.612^{ns}	0.182^{ns}
سال×آبیاری L×B	2	0.0001	0.006	0.001	0.099	0.0001	0.002	2.332	0.194	0.667
میکوریزا×آبیاری A×B	2	0.401**	0.798**	0.878**	3.266**	0.303**	0.002^{ns}	17.240**	0.004^{ns}	0.011^{ns}
میکوریزا×آبیاری ×آبیاری L×A×B	2	0.0001	0.004	0.003	0.088	0.0001	0.001	0.832	0.013	0.097
خطا Error	20	0.003	0.002	0.001	0.003	0.006	0.005	2.463	0.031	0.201
کل Total	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ns و **: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and **: are non-significant and significant at 1% probability level respectively.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر تلقیح با میکوریزا و حجم‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی زنیان

Table 3- Variance analysis (mean of squares) of mycorrhiza inoculation and different irrigation levels on caraway quantitative and qualitative characteristics

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	تعداد شاخه جانبی Branch number per plant	تعداد چتر در شاخه جانبی Umbel number per plant	تعداد چترک در چتر Umbelet number per umbel	تعداد دانه در چترک Seed number per umbelet	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	محتوی اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield
سال (L) Year (L)	1	0.001	42.250	16.497	49.280	0.290	0.010	258.834	0.045	0.216
تکرار× L Replication×L	4	0.098	7.139	1.662	5.389	0.004	0.006	3.133	0.030	0.066
میکوریزا (A) Mycorrhiza (A)	1	11.022**	1586.694**	152.234**	186.778**	2.440**	2.502**	483.927**	4.587**	45.855**
سال×میکوریزا L×A	1	0.039	1.361	0.138	0.0001	0.0001	0.035	36.502	0.025	0.156
آبیاری (B) Irrigation (B)	2	2.183**	238.778**	47.215**	60.778**	1.354**	0.146**	18.839**	0.594^{ns}	0.344^{ns}
سال×آبیاری L×B	2	0.007	1.000	0.138	0.0001	0.0001	0.0001	0.811	0.0001	0.001
میکوریزا×آبیاری A×B	2	0.050^{ns}	3.444^{ns}	2.375*	2.111**	0.304**	0.003^{ns}	52.084**	0.009^{ns}	0.024^{ns}
میکوریزا×آبیاری ×آبیاری L×A×B	2	0.008	1.444	0.138	0.0001	0.0001	0.007	17.562	0.007	0.096
خطا Error	20	0.022	2.439	0.499	0.322	0.006	0.002	2.514	0.004	0.017
کل Total	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ns: بی‌معنی، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

مقدار ۵۰ گرم از بذر هر گونه انتخاب و میزان اسانس آن با استفاده از دستگاه کلونجر اندازه‌گیری شد. سپس عملکرد اسانس از معادله (۱) محاسبه شد:

معادله (۱) عملکرد اسانس=عملکرد کمی× میزان اسانس

به منظور تفکیک اثر سال، داده‌هاي آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Minitab-ver 13 به صورت مرکب تجزیه شدند. از آزمون چند دامنه‌اي دانکن (سطح احتمال پنج درصد) و نرم‌افزار Mstat-C جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثر تلقیح با میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس رازیانه و زنیان

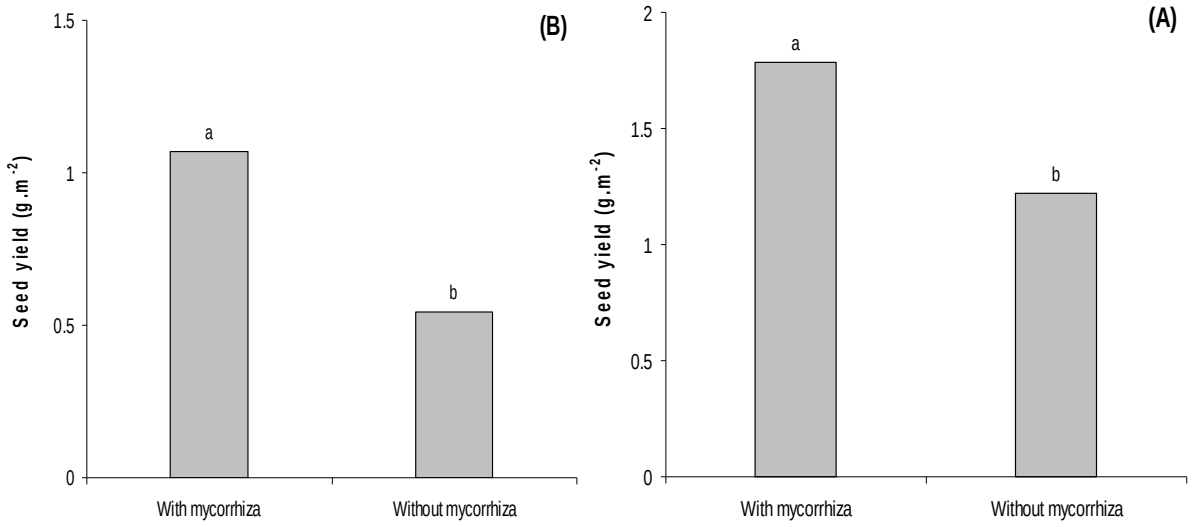
اثر تلقیح با میکوریزا بر عملکرد بیولوژیکی رازیانه و زنیان معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول‌های ۲ و ۳). به طوری‌که در شرایط تلقیح با میکوریزا عملکرد بیولوژیکی رازیانه و زنیان به ترتیب ۵/۰۳ و ۴/۳ گرم بر متر مربع بود (شکل ۱- الف و ب). بدین ترتیب، تلقیح با میکوریزا باعث بهبود ۳۲ و ۴۱ درصدی عملکرد بیولوژیکی به ترتیب برای رازیانه و زنیان در مقایسه با شاهد شد. به نظر می‌رسد که همزیستی با میکوریزا به دلیل تحریک تولید انواع هورمون‌های محرک و انواع مواد بیولوژیکی محرک رشد گیاه (Copetta et al., 2006; Jakobsen, 1987; Kravchenko et al., 1994) باعث تحریک رشد رویشی هر دو گونه دارویی شده که این امر در نهایت، بهبود عملکرد بیولوژیکی رازیانه و زنیان را به دنبال داشت.

نتایج گیوپتا و همکاران (Gupta et al., 2002) نیز مؤید بهبود عملکرد نعناع (*Mentha arvensis* L.) تلقیح شده با قارچ میکوریزا (*Glomus fasiculatum*) می‌باشد. علاوه بر این، مقایسه میزان بهبود عملکرد بیولوژیکی این دو گونه دارویی در پاسخ به همزیستی میکوریزایی، حاکی از آن است که تلقیح با میکوریزا تأثیر بیشتری بر بهبود رشد زنیان در مقایسه با رازیانه داشته است.

تلقیح با میکوریزا اثر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر عملکرد دانه دو گونه دارویی رازیانه و زنیان داشت (جدول‌های ۲ و ۳). به طوری‌که همزیستی با قارچ میکوریزا باعث بهبود عملکرد دانه رازیانه و زنیان به ترتیب ۱/۸ و ۱/۱ گرم بر متر مربع شد (شکل ۲- الف و ب). همزیستی با قارچ میکوریزا باعث بهبود عملکرد دانه رازیانه و زنیان به ترتیب ۴۶ و ۹۷ درصد در مقایسه با شاهد شد. به نظر می‌رسد که همزیستی با میکوریزا به دلیل افزایش سرعت و مدت فتوسنتز (Copetta et al., 2006; Richter et al., 2005)، باعث افزایش راندمان انتقال مواد فتوسنتزی به مخازن زایشی (دانه) گیاهان همزیست شده که این امر در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه رازیانه و زنیان شده است. کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) گزارش نمودند که تلقیح بذر رازیانه با دو گونه قارچ همزیست میکوریزا منجر به بهبود اجزای عملکرد و به تبع آن افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. علاوه بر این، با مقایسه درصد افزایش عملکرد دانه دو گیاه دارویی رازیانه و زنیان در پاسخ به تلقیح میکوریزایی مشخص شد که تأثیر میکوریزا بر بهبود عملکرد دانه زنیان بالاتر از رازیانه بود.

اثر تلقیح با قارچ همزیست میکوریزا بر شاخص برداشت دو گونه دارویی رازیانه و زنیان معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول‌های ۲ و ۳). همزیستی میکوریزایی علاوه بر بهبود عملکرد بیولوژیکی و دانه هر دو گونه دارویی (شکل‌های ۱ و ۲)، منجر به افزایش شاخص برداشت هر دو گونه شد. شاخص برداشت رازیانه و زنیان در شرایط همزیستی میکوریزایی به ترتیب ۳۵/۸ و ۲۵/۳ درصد بود و تلقیح به ترتیب باعث افزایش ۱۰ و ۴۱ درصدی شاخص برداشت این دو گونه دارویی در مقایسه با شاهد شد (شکل ۳- الف و ب). نتایج برخی از بررسی‌ها نیز تأثیر مثبت تلقیح با میکوریزا را بر بهبود خصوصیات کمي و کیفي برخی گیاهان همزیست از جمله گیاهان دارویی را اثبات کرده‌است (Gosling et al., 2006; Harrier & Watson, 2004; Khorramdel et al., 2008; Khorramdel et al., 2010).

تلقیح با میکوریزا اثر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر اجزای عملکرد دو گونه دارویی رازیانه و زنیان داشت (جدول‌های ۲ و ۳). همزیستی قارچ میکوریزا باعث بهبود اجزای عملکرد هر دو گیاه دارویی در مقایسه با عدم تلقیح شد. به طوری‌که تلقیح با قارچ، تعداد شاخه جانبی، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در بوته و تعداد دانه در چترک رازیانه را به ترتیب ۲۲، ۴۶، ۱۷، ۲۶ و ۸۶ درصد در مقایسه با شاهد بهبود بخشید. همچنین تلقیح باعث بهبود تعداد شاخه جانبی، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در بوته، تعداد دانه در چترک و وزن هزار دانه زنیان به ترتیب برابر با ۳۰، ۴۰، ۵۵، ۳۰ و ۲۳ درصد در مقایسه با شاهد شد. بیشترین وزن هزار دانه رازیانه و زنیان در شرایط تلقیح با میکوریزا (به ترتیب با ۴/۱ و ۰/۵ گرم) و کمترین میزان آن نیز برای شاهد (۲/۲ و ۰/۴ گرم) حاصل شد (جدول ۴).

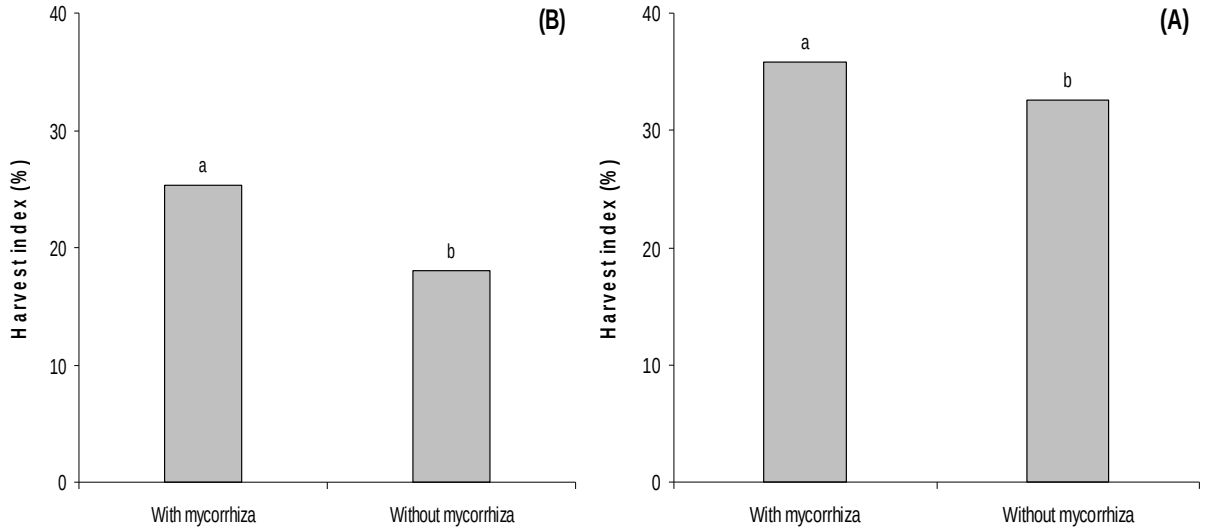


شکل 2- اثر تلقیح با میکوریزا بر عملکرد دانه (الف) رازیانه و (ب) زنیان

Fig. 2- Effect of mycorrhiza inoculation on seed yield of (A) fennel and (B) ajwain

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).



شکل 3- اثر تلقیح با میکوریزا بر شاخص برداشت (الف) رازیانه و (ب) زنیان

Fig. 3- Effect of mycorrhiza inoculation on harvest index of (A) fennel and (B) ajwain

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

چنین به نظر می‌رسد که به دلیل بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای گیاهان همزیست در شرایط تلقیح با میکوریزا، دسترسی به منابع موجود از جمله رطوبت و عناصر غذایی همچون فسفر افزایش یافته که به دنبال آن باعث بهبود رشد و در نتیجه افزایش اجزای عملکرد گونه‌های همزیست در مقایسه با شاهد شده است. کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) نیز افزایش اجزای عملکرد رازیانه را تحت تأثیر همزیستی با قارچ میکوریزا به بهبود شرایط تغذیه‌ای به

ویژه افزایش فراهمی فسفر برای این گیاه دارویی مربوط دانستند. نتایج دیگر بررسی‌ها نیز بهبود خصوصیات رشدی و اجزای عملکرد برخی گیاهان دارویی همچون سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) (Khorramdel et al., 2010)، نعناع (Clark & Menary, 1980; Gupta et al., 202)، ریحان (Copetta et al., 2006) و مرزنجوش (*Majorana hortensis* L.) (Gharib et al., 2008) را در شرایط تلقیح با کودهای مختلف بیولوژیکی همچون قارچ میکوریزا تأیید کرده است.

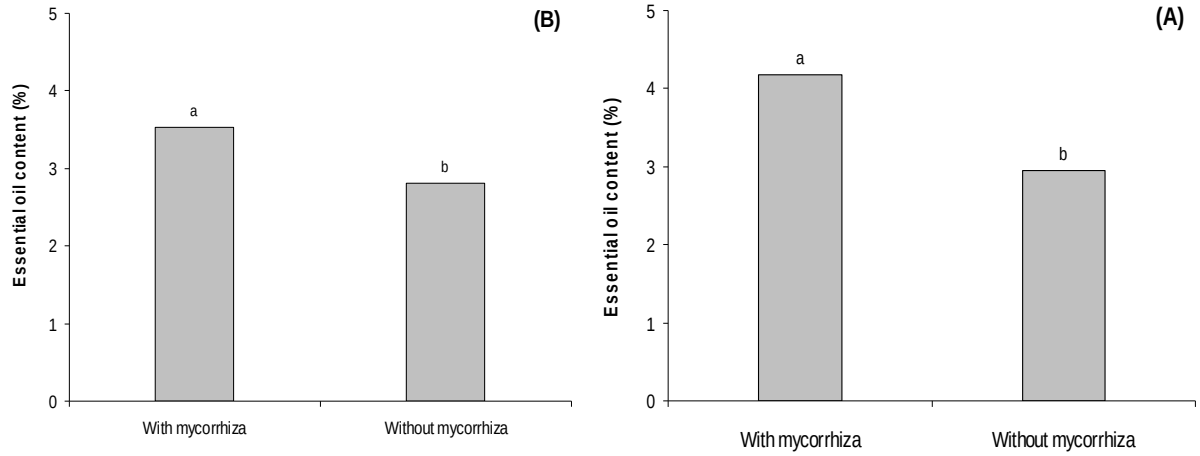
جدول 4- مقایسه میانگین اثر تلقیح با میکوریزا بر اجزای عملکرد رازیانه و زنیان

Table 4- Mean comparisons of mycorrhiza inoculation on yield components of fennel and ajwain

نام گونه دارویی Medicinal plant name	تلقیح با میکوریزا Mycorrhiza inoculation	تعداد شاخه جانبی Branch number per plant	تعداد چتر در شاخه جانبی Umbel number per plant	تعداد چترک در چتر Umbelet number per umbel	تعداد دانه در چترک Seed number per umbelet	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)
رازیانه Fennel	با تلقیح With inocolation	5.25[a]*	6.66[a]	7.55[a]	10.23[a]	4.12[a]
	بدون تلقیح Without inoculation	4.32[b]	4.49[b]	6.43[b]	8.15[b]	2.22[a]
زنیان Ajwain	با تلقیح With inocolation	5.47[a]	46.61[a]	11.63[a]	19.84[a]	0.48[a]
	بدون تلقیح Without inoculation	3.63[b]	33.33[b]	7.52[b]	15.28[b]	0.39[b]

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر گیاه، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means with the same letter(s) in each column and for each medicinal plant are not significantly different at 5% level of probability based on Duncan's multiple range test.



شکل 4- اثر تلقیح با میکوریزا بر میزان اسانس (الف) رازیانه و (ب) زنیان

Fig. 4- Effect of mycorrhiza inoculation on essential oil content of (A) fennel and (B) ajwain

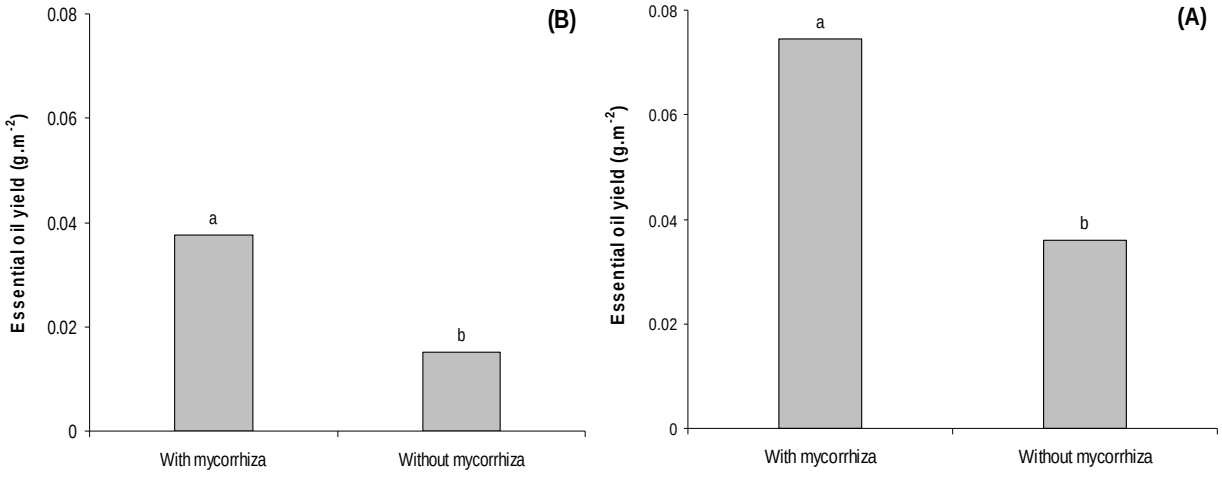
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

نتایج دیگر بررسی‌ها (Gharib et al., 2008; Mahfouz & Shraf-Eldin, 2007; Richter et al., 2005; Sing et al., 2002) نیز بهبود میزان اسانس برخی گیاهان دارویی را در شرایط تلقیح با انواع میکروارگانیسم‌های خاکزی از جمله میکوریزا اثبات کرده است. تلقیح با قارچ همزیست میکوریزا به طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) عملکرد اسانس دو گونه دارویی رازیانه و زنیان را تحت تأثیر قرار داد (جدول‌های ۲ و ۳). به طوری‌که در شرایط تلقیح عملکرد اسانس رازیانه و زنیان به ترتیب برابر با ۰/۰۷٤ و ۰/۰۳۸ گرم در متر مربع بود (شکل ۵- الف و ب).

اثر تلقیح با میکوریزا بر میزان اسانس رازیانه و زنیان معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول‌های ۲ و ۳). به طوری‌که در شرایط تلقیح با میکوریزا درصد اسانس رازیانه و زنیان به ترتیب ۴/۲ و ۳/۰ درصد بود (شکل ۴- الف و ب). بدین ترتیب، تلقیح با قارچ میکوریزا باعث بهبود ۴۱ و ۲۵ درصدی محتوی اسانس دو گیاه دارویی رازیانه و زنیان در مقایسه با شاهد شد. چنین به نظر می‌رسد که تلقیح با قارچ همزیست میکوریزا از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، سبب افزایش فتوسنتز گیاهی شده (Copetta et al., 2006; Kapoor et al., 2007) که در نتیجه به دلیل تأثیر مثبت بر گلدهی و افزایش تعداد و وزن دانه (جدول ٤)، در نهایت منجر به افزایش درصد اسانس رازیانه و زنیان است. درزی و همکاران (Darzi et al., 2008) بیان داشتند که تلقیح با میکوریزا باعث افزایش محتوی اسانس رازیانه (۳/۸۸ درصد) شد. نتایج گیوپتا و همکاران (Gupeta et al., 2002) نیز مؤید بهبود عملکرد نعناع تلقیح شده با قارچ میکوریزا می‌باشد.

چنین به نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزایی با تولید انواع هورمون‌ها و مواد بیولوژیکی محرک رشد گیاه (Jakobsen, 1987; Kravchenko et al., 1994; Copetta et al., 2006) بهبود رشد رویشی و رشد زایشی این گیاهان دارویی همزیست از جمله تعداد و وزن دانه (جدول ٤) و در نهایت بهبود عملکرد اسانس را موجب شد. نتایج گیوپتا و همکاران (Gupeta et al., 2002) نیز مؤید بهبود عملکرد نعناع تلقیح شده با قارچ میکوریزا می‌باشد. علاوه بر این، با مقایسه میزان بهبود عملکرد اسانس این دو گونه دارویی در پاسخ به همزیستی میکوریزایی، مشخص شد که تلقیح با این قارچ تأثیر بیشتری بر بهبود عملکرد اسانس زنیان در مقایسه با رازیانه داشت.

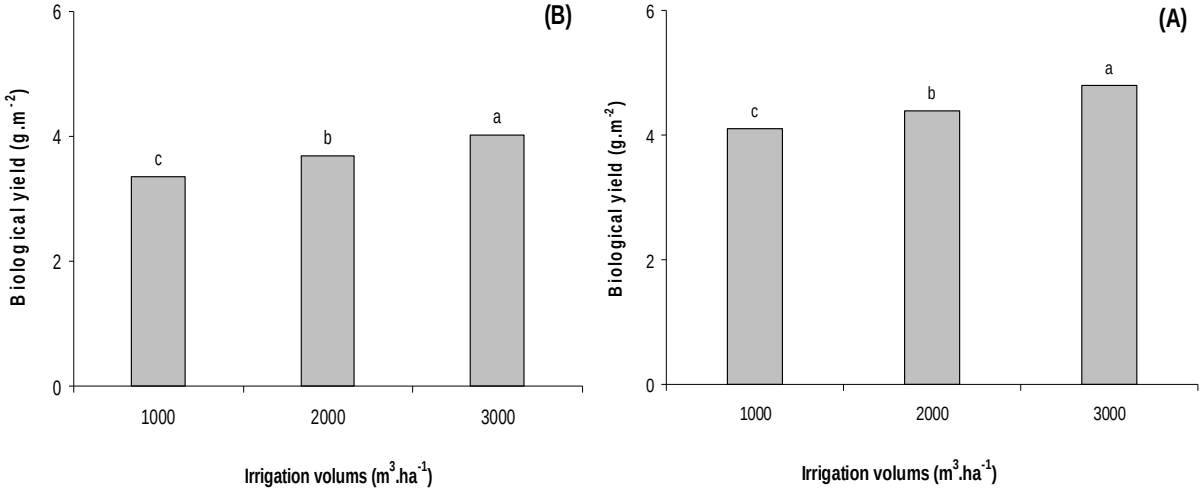


شکل 5- اثر تلقیح با میکوریزا بر عملکرد اسانس (الف) رازیانه و (ب) زنیان

Fig. 5- The effects of mycorrhiza inoculation on essential oil yield of (A) fennel and (B) ajwain

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

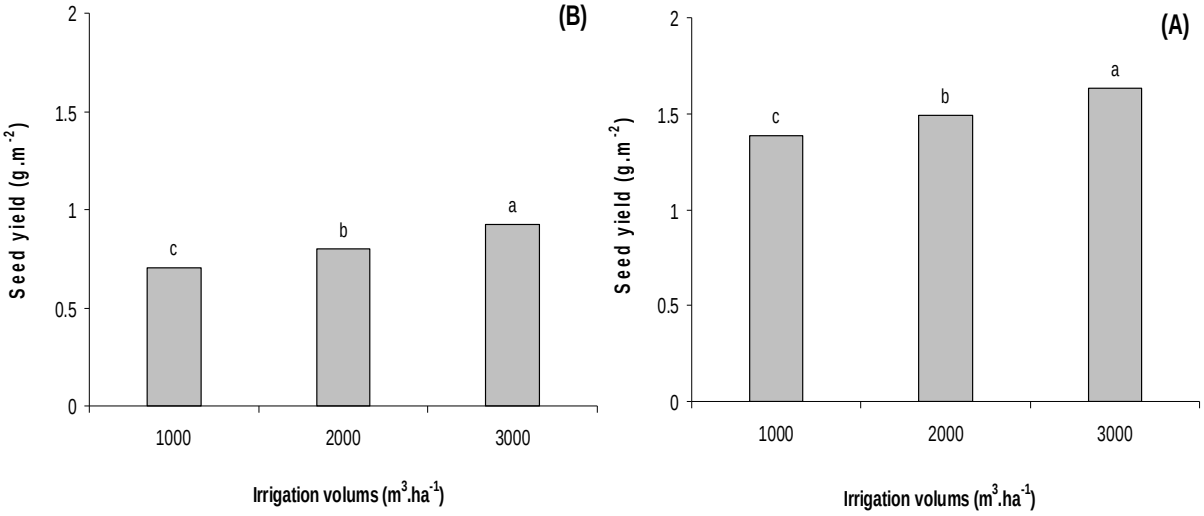


شکل 6- اثر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی (الف) رازیانه و (ب) زنیان

Fig. 6- Effects of different irrigation levels on biological yield of (A) fennel and (B) ajwain

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

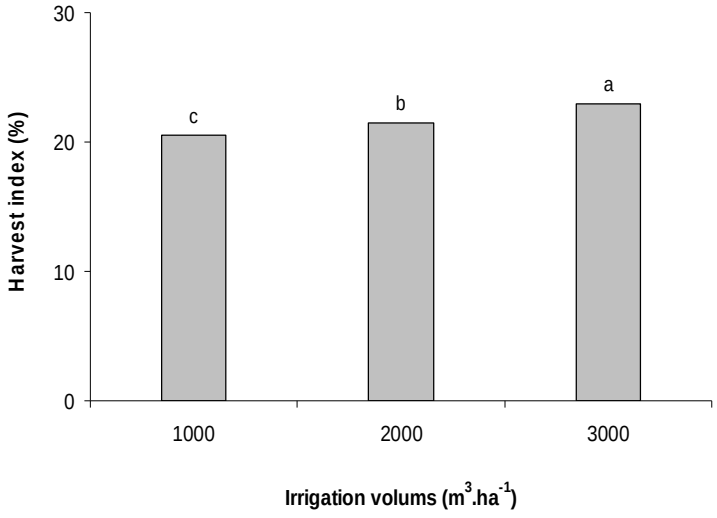


شکل 7- اثر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی (الف) رازیانه و (ب) زنیان

Fig. 7- Effects of different irrigation levels on seed yield of (A) fennel and (B) ajwain

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).



شکل 8- اثر سطوح مختلف آبیاری بر شاخص برداشت زنیان

Fig. 8- Effects of different irrigation levels on harvest index of ajwain

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

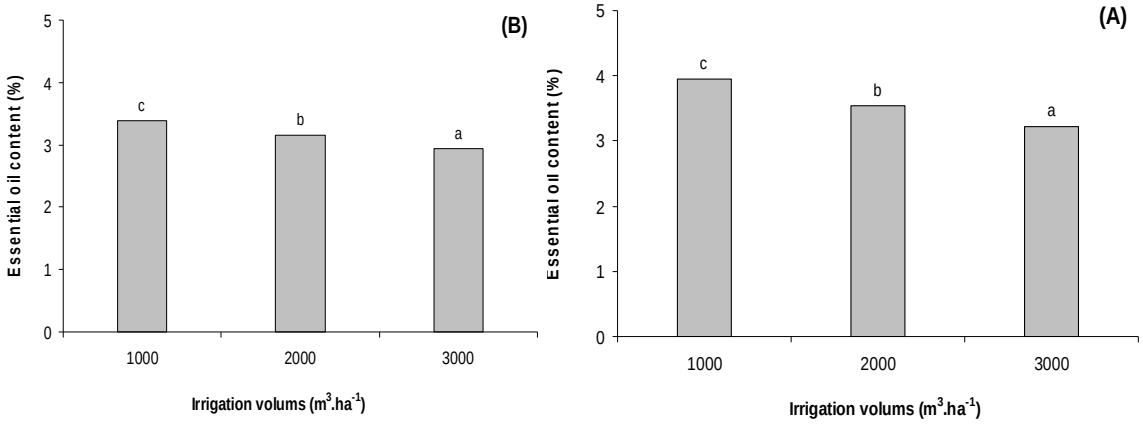
Means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

اثر حجم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس رازیانه و زنیان

اثر حجم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی دو گونه دارویی رازیانه و زنیان معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول‌های ۲ و ۳). به طوری‌که بیشترین عملکرد بیولوژیکی رازیانه و زنیان در حجم آبیاری ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار (به ترتیب با ۴/۸ و ۴/۰ گرم بر متر مربع) و کمترین میزان آن برای حجم ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار (به ترتیب با ۴/۱ و ۳/۴ گرم بر متر مربع) مشاهده شد (شکل ۶). از آن‌جا که فراهم بودن آب و عناصر غذایی کافی، رشد رویشی و زایشی مطلوب گیاهان را موجب می‌شود (pssioura et al., 1993; Srmadnia & Koocheki, 2001)، چنین به نظر می‌رسد که به دلیل رشد بهتر اندام‌های هوایی دو گونه رازیانه و زنیان، در تیمارهایی که حجم آب کافی دریافت نموده‌اند، عملکرد بیولوژیکی افزایش یافته است. نتایج برخی بررسی‌ها (Colom & Vazzana, 2002; Surendra et al., 1994) نیز بهبود خصوصیات رویشی گیاهان را تحت تأثیر میزان رطوبت تأیید کرده است. با مقایسه درصد بهبود عملکرد بیولوژیکی دو گونه دارویی رازیانه و زنیان در پاسخ به حجم‌های مختلف آبیاری مشخص شد که تأثیر حجم آب بر بهبود عملکرد بیولوژیکی زنیان بالاتر از رازیانه بود.

حجم‌های مختلف آبیاری اثر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر عملکرد دانه دو گونه دارویی رازیانه و زنیان داشتند (جدول‌های ۲ و ۳). به طوری‌که بیشترین و کمترین عملکرد دانه رازیانه و زنیان به ترتیب برای حجم آبیاری ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار (به ترتیب با ۱/۶ و ۰/۹ گرم بر متر مربع) و ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار (به ترتیب با ۱/۴و ۰/۷ گرم بر متر مربع) به دست آمد (شکل ۷). دلیل بهبود عملکرد دانه رازیانه و زنیان در شرایط افزایش حجم آبیاری تا ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار را می‌توان به رشد رویشی بیشتر و در نتیجه بهبود تولید سطح فتوسنتز کننده گیاهی نسبت داد که این موارد افزایش سرعت فتوسنتز و به تبع آن بهبود تولید ماده فتوسنتزی را موجب شده است.

سورندرا و همکاران (Surendra et al., 1994) و جانگیر و سینگ (Jangir & Sing, 1996) نیز با بررسی اثر آبیاری بر رشد تعدادی از گونه‌های دارویی گزارش کردند که آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت. به طوری‌که افزایش میزان آبیاری باعث بهبود عملکرد گیاهان گردید. با مقایسه درصد بهبود عملکرد دانه دو گیاه دارویی رازیانه و زنیان در پاسخ به حجم‌های مختلف آبیاری مشخص شد که تأثیر حجم آب بر بهبود عملکرد دانه زنیان به مراتب بالاتر از رازیانه بود.



شکل 9- اثر سطوح مختلف آبیاری بر میزان اسانس (الف) رازیانه و (ب) زنیان

Fig. 9- Effects of different irrigation levels on essential oil content of (A) fennel and (B) ajwain

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

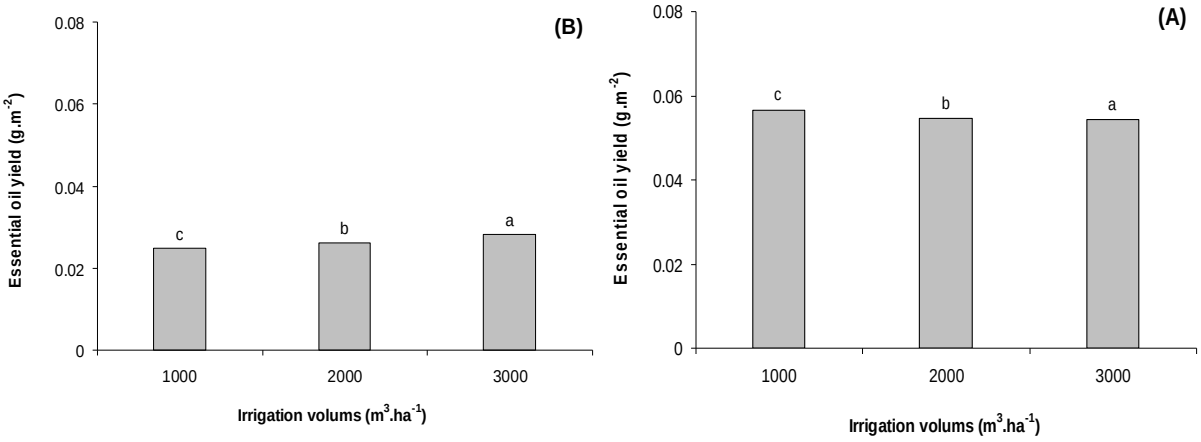
Means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

اثر حجم‌های مختلف آبیاری بر شاخص برداشت گیاه دارویی زنیان معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول ۳). به طوری‌که افزایش حجم آبیاری از هزار به ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار باعث بهبود ۱۲ درصدی شاخص برداشت زنیان شد (شکل ۸). نتایج برخی بررسی‌ها (Surendra et al., 1994) نیز بهبود خصوصیات رویشی و زایشی برخی گیاهان را تحت تأثیر میزان رطوبت قابل دسترس نشان داده است.

حجم‌های مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر میزان اسانس رازیانه و زنیان داشت (جدول‌های ۲ و ۳). به طوری‌که با افزایش حجم آبیاری میزان اسانس هر دو گیاه دارویی کاهش یافت. بیشترین میزان اسانس رازیانه و زنیان (به ترتیب با ٤/۰ و ۳/٤ درصد) در حجم آبیاری هزار مترمکعب و کمترین میزان آن در حجم آبیاری ۳۰۰۰ مترمکعب (به ترتیب با ۳/۲ و ۲/۹ درصد) مشاهده شد (شکل ۹- الف و ب). نتایج برخی از بررسی‌ها نیز بهبود محتوی اسانس برخی گیاهان دارویی از جمله بابونه (*Matricaria chamomila* L.) (Razmjoo et al., 2008)، بادرنجبویه (Ozturk et al., 2004)، مرزه (*Satureja hortensisa* L.) (Baher et al., 2002) و نعناع فلفلی (Charles et al., 1999) را در شرایط کاهش میزان آب قابل دسترس در خاک تأیید کرده است.

حجم‌های مختلف آبیاری به طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) عملکرد اسانس دو گونه دارویی رازیانه و زنیان را تحت تأثیر قرار داد (جدول‌های ۲ و ۳). به طوری‌که بیشترین و کمترین عملکرد اسانس رازیانه به ترتیب در شرایط اعمال هزار و ۳۰۰۰ حجم آب (به ترتیب با ۰/۰۵۷ و ۰/۰٥٤ گرم در متر مربع) مشاهده شد. بالاترین عملکرد اسانس گیاه دارویی زنیان (۰/۰۲۸ گرم در متر مربع) در حجم آبیاری ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار و کمترین میزان آن (۰/۰۲٥ گرم در متر مربع) در حجم ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار حاصل شد (شکل ۱۰- الف و ب).

حجم‌های مختلف آبیاری اثر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر اجزای عملکرد دو گونه دارویی رازیانه و زنیان داشتند (جدول‌های ۲ و ۳). بیشترین تعداد شاخه جانبی در بوته (۵/۰ شاخه جانبی)، تعداد چتر در شاخه جانبی (۵/۹ چتر)، تعداد چترک در چتر (۷/۵ چترک)، تعداد دانه در چترک (۹/۹ دانه) و وزن هزار دانه (۴/۲ گرم) در حجم ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار آبیاری و کمترین میزان آن‌ها برای حجم ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار (به ترتیب با ۴/۵ شاخه جانبی در بوته، ۵/۱ چتر در شاخه جانبی، ۶/۶ چترک در چتر، ۸/۵ دانه در چترک و ۲/۱ گرم) مشاهده شد. افزایش حجم آبیاری از هزار به ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار باعث بهبود اجزای عملکرد زنیان شامل تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد چتر در شاخه جانبی، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک و وزن هزار دانه به ترتیب برابر با ۲۰، ۲۵، ۵۰، ۲۹ و ۲۸ درصد شد (جدول ۵).



شکل 10- اثر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد اسانس (الف) رازیانه و (ب) زنیان

Fig. 10- Effects of different irrigation levels on essential oil yield of (A) fennel and (B) ajwain

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α=0.05).

جدول 5- مقایسه میانگین اثر حجم‌های مختلف آبیاری بر اجزای عملکرد دو گونه دارویی رازیانه و زنیان

Table 5- Mean comparisions of irrigation levels on yield components of fennel and ajwain

نام گونه دارویی Medicinal plant name	سطح آبیاری (متر مکعب در هکتار) Irrigation level ($m^3.ha^{-1}$)	تعداد شاخه جانبی Branch number per plant	تعداد چتر در شاخه جانبی Umbel number per plant	تعداد چترک در چتر Umbelet number per umbel	تعداد دانه در چترک Seed number per umbelet	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)
رازیانه Fennel	1000	4.47c*	5.09c	6.65c	8.52c	2.12c
	2000	4.32b	5.55b	6.90b	9.13b	2.88b
	3000	5.04a	5.93a	7.51a	9.92a	4.22a
زنیان Ajwain	1000	3.88c	35.92c	7.80c	15.34c	0.39c
	2000	4.08b	39.25b	9.20b	17.50b	0.43b
	3000	4.66a	44.75a	11.72a	19.84a	0.50a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر گیاه، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means with the same letter(s) in each column and for each medicinal plant are not significantly different at 5% level of probability based on Duncan's multiple range test.

چنین به نظر می‌رسد که به دلیل بهبود محتوی رطوبتی قابل دسترس گیاهان در شرایط افزایش حجم آبیاری، رشد اندام‌های رویشی و تولید مواد فتوسنتزی افزایش یافته که در نتیجه باعث بهبود اجزای عملکرد هر دو گونه دارویی در مقایسه با حجم ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار شده است.

نتایج دیگر بررسی‌ها نیز بهبود خصوصیات رشدی و اجزای عملکرد برخی از گیاهان دارویی همچون اسفرزه (Plantago ovata L.) (Khazaee et al., 2007)، ریحان (Hasani & Omid Beygi, 2002)، زیره سبز (Jangir & Sing, 1996) و گشنیز (Surendra et al., 1994) را تحت تأثیر افزایش محتوی رطوبتی خاک تأیید کرده است.

اثر متقابل تلقیح با میکوریزا و حجم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد رازیانه و زنیان

اثر متقابل تلقیح با قارچ میکوریزا و حجم‌های آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و برخی اجزای عملکرد رازیانه از جمله تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد چتر در شاخه جانبی، تعداد چترک در چتر و تعداد دانه در چترک معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیکی رازیانه در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزا و حجم آبیاری ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار (۵/۵ گرم در متر مربع) و بالاترین شاخص برداشت در شرایط بدون تلقیح و حجم آبیاری ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار (۳۶ درصد) و کمترین میزان آن‌ها برای در شرایط بدون تلقیح و حجم آبیاری ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار (به ترتیب ۳/۷ گرم در متر مربع و ۳۱ درصد) مشاهده شد. بالاترین تعداد

شاخه جانبی در بوته (۵/۶ شاخه جانبی)، چتر در شاخه جانبی (۷/۲ چتر)، چترک در چتر (۸/۴ چترک) و دانه در چترک (۱۱/۵ دانه) در شرایط تلقیح با میکوریزا و حجم آبیاری ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار و کمترین میزان این اجزای عملکرد برای شرایط تلقیح با میکوریزا و حجم آبیاری ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار (به ترتیب با ۴/۳ شاخه جانبی، ۴/۵ چتر، ۶/۴ چترک و ۸/۲ دانه) به دست آمد (جدول ۶).

اثر متقابل تلقیح با قارچ میکوریزا و حجم‌های آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و برخی اجزای عملکرد زنیان از جمله تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک و وزن هزار دانه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک و وزن هزار دانه زنیان در شرایط تلقیح با میکوریزا و حجم آبیاری ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار (به ترتیب با ۴/۸ گرم در متر مربع، ۲۴/۶ درصد، ۱۴/۳ چترک، ۲۲/۵ دانه و ۰/۵۵ گرم) و کمترین میزان برای شرایط بدون تلقیح و حجم ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار آبیاری (به ترتیب با ۲/۹ گرم در متر مربع، ۱۴/۸ درصد، ۶/۰ چترک، ۱۳/۵ دانه و ۰/۳۶ گرم) حاصل شد (جدول ۷).

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که تلقیح با قارچ میکوریزا به دلیل بهبود توسعه سیستم ریشه‌اي از یک طرف باعث فراهمي رطوبت و دسترسي به عناصر غذايي قابل دسترس به ویژه فسفر و از طرف دیگر، منجر به تولید انواع هورمون‌ها و مواد بیولوژیکي محرک رشد گیاه گردید که در نهایت موجب بهبود رشد رویشی گیاه شد. با توجه به بهبود رشد گیاه در حضور این قارچ همزیست، کلیه خصوصیات رشدی گیاه نیز افزایش یافت که در نتیجه باعث بهبود محتوی اسانس و عملکرد اسانس شد. علاوه بر این، افزایش حجم آبیاری به دلیل بهبود رشد رویشی و سطح فتوسنتز کننده گیاهی باعث افزایش سرعت فتوسنتز و بهبود تولید ماده فتوسنتزی شد که در نهایت عملکرد دانه و عملکرد اسانس هر دو گونه را افزایش داد. به طورکلی، چنین به نظر می‌رسد که بهتر است استفاده بهینه از حجم آبیاری و همچنین تلقیح با کودهای بیولوژیکی برای این گیاهان دارویی با دقت بیشتری مد نظر قرار گیرد.

جدول 6- مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح با میکوریزا و حجم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و برخی اجزای عملکرد رازیانه

Table 6- Mean comparisons of interaction between mycorrhiza inoculation and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of fennel

تلقیح با میکوریزا Mycorrhiza inoculation	سطح آبیاری (مترمکعب در هکتار) Irrigation level ($m^3.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیکی (گرم در متر مربع) Biological yield ($g.m^{-2}$)	شاخص برداشت (%) Harvest index (%)	تعداد شاخه جانبی Branch number per plant	تعداد چتر در شاخه جانبی Umbel number per plant	تعداد چترک در چتر Umbelet number per umbel	تعداد دانه در چترک Seed number per umbelet
با تلقیح With inoculation	1000	4.54^{c}*	36.92^{a}	4.72^{c}	5.84^{c}	6.87^{c}	9.07^{c}
	2000	5.53^{a}	35.03^{b}	5.64^{a}	7.19^{a}	8.36^{a}	11.51^{a}
	3000	3.73^{e}	33.35^{b}	4.32^{e}	4.47^{e}	6.37^{e}	8.15^{e}
بدون تلقیح Without inoculation	1000	5.03^{b}	35.54^{a}	5.39^{b}	6.63^{b}	7.42^{b}	10.11^{b}
	2000	3.68^{e}	30.98^{c}	4.20^{f}	4.33^{f}	6.26^{f}	7.96^{f}
	3000	4.06^{d}	33.55^{b}	4.43^{d}	4.66^{d}	6.67^{d}	8.33^{d}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on Duncan's multiple range test.

جدول 7- مقایسه میانگین اثر متقابل تلقیح با میکوریزا و حجم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و برخی اجزای عملکرد زنیان

Table 7- Mean comparisons of interaction between mycorrhiza inoculation and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of ajwain

قیح با میکوریزا Mycorrhiza inoculation	سطح آبیاری (مترمکعب در هکتار) Irrigation level ($m^3.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیکی (گرم در متر مربع) Biological yield ($g.m^{-2}$)	شاخص برداشت (%) Harvest index (%)	تعداد چترک در چتر Umbelet number per umbel	تعداد دانه در چترک Seed number per umbelet	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)
با تلقیح With inoculation	1000	3.83c*	26.25a	9.65b	17.17c	0.42d
	2000	4.82a	24.57a	14.28a	22.50a	0.55a
	3000	3.05e	17.80c	7.45e	15.17d	0.39e
بدون تلقیح Without inoculation	1000	4.31b	25.14a	10.95b	19.84b	0.48b
	2000	2.88f	14.76d	5.95f	13.50e	0.36f
	3000	3.24d	21.41b	9.15d	17.17c	0.44c

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on Duncan's multiple range test.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل طرح شماره ۰۴۴ پ مصوب ۱۳۸۹/۱/۳۱ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

Alkire, B.H., Simon, J.E., and Pautievsky, D. 1993. Water management for Midwestern peppermint (*Mentha piperita* L.) growing in highly organic soils, India, USA. Acta Horticulturae 344: 544-556.

Antunes, P.M., Schneider, K., Hillis, D., and Klironomos, J.N. 2007. Can the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* actively mobilize P from rock phosphates? Pedobiologia 51: 281-286.

Baher, Z.F., Mirza, M., Ghorbanli, M., and Rezaii, M.B. 2002. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. Flavour and Fragrance Journal 17(4): 275-277.

Cardoso, I.M., and Kuyper, T.W. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agriculture, Ecosystems and Environment 116: 72-84.

Celik, I., Ortas, I., and Kilic, S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil and Tillage Research 78: 59-67.

Charles, D.J., Joly, R.J., and Simon, J.E. 1999. Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. Phytochemistry 29(9): 2837-2840.

Clark, R.J., and Menary, R.C. 1980. The effect of irrigation and nitrogen on the yield and composition of peppermint oil (*Mentha piperita* L.). Australian Journal of Agricultural Research 31(3): 489 -498.

Colom, M.R., and Vazzana, C. 2002. Water stress effects on three cultivars of *Eragrostis curvula*. Italy Journal of Agronomy 6: 127-132.

Copetta, A., Lingua, G., and Berta, G. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. Mycorrhiza 16: 485-494.

Darzi, M.T., Ghalavand, A., and Rejali, F. 2008. Evaluation the effects of mycorrhiza, vermi compost and phosphate fertilizer on flowering, biological yield and root symbiosis in fennel. Iranian Journal of Agronomy Sciences 10(1): 88-109.

El-Mougy, N.S., and Abdel-Kader, M. 2007. Antifungal effect of powdered spices and their extracts on growth and activity of some fungi in relation to damping-off disease control. Journal of Plant Protection Research 47: 267-278.

Estrada-Luna, A., and Davies, A. 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi influence water, relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capscum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization. Journal of Plant Physiology, 160: 1073-1083.

Feng, G., Zhang, F.S., Li, X.L., Tian, C.Y., Tang, C., and Rengel, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to

salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza, 12: 185-190.

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

Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., and Bending, G.D. 2006. Arbuscular mycorrhiza fungi and organic farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 113: 17-35.

Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M., and Kumar, S. 2002. Effect of the vesicular–arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* 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(1): 77-79.

Harrier, L.A., and Watson, C.A. 2004. The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. Pest Management Science 60: 149-157.

Hasani, A., and Omid Beygi, R. 2002. The effects of water stress on some morphophysiological, physiological and metabolismic characteristics of ocimum. Agricultural Knowledge 3(12): 47-59. (In Persian with English Summary)

Hecl, J., and Sustrikova, A. 2006. Determination of heavy metals in chamomile flower drug- an assurance of quality control. International Symposium on chamomile Research, Development and Production. Presov, Slovakia 69 pp.

Holtzer, T.O., Archer, T.L., and Norman, J.M. 1988. Host plant suitability in relation to water stress. In: Heinrichs, E.A. (ed.), *Plant Stress*-Interactions, p. 111-37. Willey-Interscience.

Jakobsen, I. 1987. Effects of VA mycorrhiza on yield and harvest index of field-grown pea. Plant and Soil 98(3): 407-415.

Jangir, R.P., and Sing, R. 1996. Effect of irrigation and nitrogen on seed yield of cumin (*Cuminum cyminum*). Indian Journal of Agronomy 41:140-143.

Jones, H.G., and Corlett, J.E. 1992. Current tropics in drought physiology. Journal of Agricultural Science, Cambridge 119: 291-296.

Kapoor, R., Chaudhary, V., and Bhatnagar, A.K. 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. Mycorrhiza 17: 581-587.

Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in (*Foeniculum vulgare* Mill) on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.

Kazaee, H.R., Sabet Teimuri, M., and Nadjafi, F. 2007. The effects of irrigation regimes and seed planting amount on yield, yield components and quality of *Plantago ovata* L. Iranian Journal of Field Crops Research 8(5): 758-766. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Inoculation effects with biofertilizers on the yield and yield components in black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8(5): 758-766. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008. Application effects of nitrogen and phosphorus biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8(5): 758-766. (In Persian with English Summary)

Kothamasi, D., Kuhand, R.C., and Babu, C.R. 2001. Arbuscular mycorrhizae in plant survival strategies. Tropical Ecology 42: 1-13.

Kravchenko, L.V., Leonova, E.I., and Tikhonovich, I.A. 1994. Effect of root exudates of non-legume plants on the response of auxin production by associated diazotrophs. Microbial Releases 2: 267-271.

Lopes-Lutz, D., Alviano, D.S., Alvino, C.S., and Kolodziejczyk, P.P. 2008. Screening of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activites of Artemisia essential oils. Phytochemistry 69: 1732-1738.

Mahfouz, S.A., and Sharaf-Eldin, M.A. 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). International Agrophysics 21: 361-366.

Morone-Fortunato, I., and Avato, P. 2008. Plant development and synthesis of essential oils in micropropagated and mycorrhiza inoculated plants of *Origanum vulgare* L. ssp. Hirtum (Link) Ietswaart. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 93: 139-149.

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment 25: 239-250.

Oehl, F., Sieverding, E., Mader, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., and Wiemken, A. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. Oecologia 138: 574-583.

Omid Beygi, R. 1995. Approaches for Production and Processing in Medicinal Plants. Vol. 1. Tarrahan-e-Nashr, Publication, Tehran, Iran 424 pp. (In Persian)

Omid Beygi, R. 1997. Approaches for Production and Processing in Medicinal Plants. Vol. 3. Fekr-e- Rooz, Publication, Tehran, Iran 283 pp. (In Persian)

Ozturk, A., Unlukara, A., Ipek, A., and Gurbuz, B. 2004. Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Pakistan Journal of Botany 36(4): 787-792.

Passioura, J.B., Condon, A.G., and Richards, R.A. 1993. Water deficit, the development of leaf area and crop productivity. In: "Water Deficit, from Cell to Community "(eds. J.A.C. Smith and H. Griffiths). Biosciences, Publication. UK. p. 253-264.

Pinior, A., Grunewaldt-Stocker, G., Von Alten, H., and Strasser, R.J. 2005. Mycorrhizal impact on drought stress tolerance of rose plants probed by chlorophyll a fluorescence, praline content and visual scoring. Mycorrhiza 15: 596-605.

Razmjoo, K., Heydarizadeh, P., and Sabzalian, M.R. 2008. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of Matricaria chamomila. International Journal of Agriculture and Biology 10: 451-454.

Richter, J., Stutzer, M., and Schellenberg, I. 2005. Effects of mycorrhization on the essential oil content and composition of aroma components of marjoram (*Marjorana hortensis*), thyme (*Thymus vulgaris* L.) and ajwain (*Trachyspermum carvi* L.). 36th International Symposium on Essential Oils, 4-7 September, Budapes, Hungary.

Sardans, J., Roda, F., and Penuelas, J. 2005. Effect of water and a nutrient pulse supply on *Rosemarinus officinalis* growth, nutrient content and flowering in the field. Environmental and Experimental Botany 53: 1-11.

Shabih, F., Farooqi, A.H.A., Ansari, S.R., and Sharma, S. 1999. Effect of water stress on growth and essential oil metabolism in *Cymbopogon martinii* cultivars. Journal of Essential Oil Research 11: 491-496.

Singh, M., Sharma, S., and Ramesh, S. 2002. Herbage, oil yield and oil quality of patchouli [*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.] influenced by irrigation, organic mulch and nitrogen application in semi-arid tropical climate. Industrial Crops and Products 16(2): 101-107.

Surendra, S.R., Tomar, K.P., Gupta, K.P., Mohd, A., and Nigam, K.B. 1994. Effect of irrigation and fertility levels on growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum*). Indian Journal of Agronomy 39: 442-447.

Uhlmann, E., Görke, C., Petersen, A., and Oberwinkler, F. 2006. Arbuscular mycorrhizae from arid parts of Namibia. Journal of Arid Environments 64: 221-237.

Vance, C.P., Uhde-Stone, C., and Allan, D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing a non- renewable resource. New Physiology 157: 423-447.