

تأثیر رژیم‌های آبیاری و کاربرد قارچ میکوریزا بر کارایی زراعی مصرف آب محصول کنجد

عبداله احمدنژاد*، جهانگیر عابدی کوپائی و سیدفرهاد موسوی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۲۳)

چکیده

کنجد یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی در دنیا است. تنش خشکی یکی از عوامل محیطی محدودکننده تولید کنجد می‌باشد. تأثیر کمبود آب می‌تواند به وسیله تلقیح ریشه گیاهان با قارچ میکوریزا کاهش یابد. در این مطالعه، هدف، تعیین تأثیر سطوح مختلف آب کاربردی (تأمین ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد کمبود رطوبتی خاک) با روش آبیاری قطره‌ای-نواری سطحی (تیپ) و تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا بر کارایی زراعی مصرف آب کنجد می‌باشد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۸۹ اجرا شد. نتایج نشان داد که اثر رژیم آبیاری بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه معنی‌دار نشد. تأثیر کاربرد قارچ میکوریزا بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه (۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به رژیم آبیاری ۸۰ درصد و تلقیح شده با قارچ میکوریزا بود. تأثیر رژیم‌های آبیاری و کاربرد میکوریزا بر کارایی زراعی مصرف آب محصول روغن معنی‌دار شد. بیشترین کارایی زراعی مصرف آب محصول روغن (۰/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد و تلقیح شده با میکوریزا بود.

واژه‌های کلیدی: کنجد، میکوریزا، آبیاری قطره‌ای-نواری سطحی، کارایی زراعی مصرف آب

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ab.ahmadnejad@yahoo.com

مقدمه

آب از مهم‌ترین منابع طبیعی است که استحصال آن بسیار پرهزینه بوده و محدودیت این نهاده در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده صحیح برای بهره‌برداری حداکثر از آن را ضروری می‌سازد. به همین دلیل، مدیریت آب در مزرعه بر عملکرد محصول در کشاورزی فاریاب، در این مناطق مؤثر می‌باشد. بنابراین، چنانچه شدت بهره‌برداری از منابع آب در سطح بهینه نگهداری شود، حداکثر درآمد را برای کشاورزان در پی خواهد داشت (۲۷). به نظر اکثر کارشناسان، بحران آب در جهان یک بحران مدیریتی است که بایستی جهت حادثر نشدن این بحران به مسائلی چون پشتیبانی از نوآوری‌های جدید در روش‌های آبیاری، تشکیل انجمن‌های مردمی در جهت افزایش بهره‌وری آب، افزایش ذخیره آب و اصلاح روش‌های مدیریت آب توجه کرد (۶). آبیاری قطره‌ای موجب استفاده مؤثر از منابع آب محدود و افزایش راندمان مصرف آب می‌شود. آبیاری قطره‌ای، دارای آثار مثبت بر عملکرد و صرفه‌جویی در مصرف آب بوده و در نهایت موجب افزایش راندمان آبیاری می‌شود. به همین دلیل به طور گسترده‌ای در سال‌های اخیر در سراسر جهان مورد استقبال قرار گرفته است (۲). کم‌آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط تنش آب است که همراه با کاهش محصول در واحد سطح و افزایش آن با گسترش سطح می‌باشد. هدف اصلی از اجرای کم‌آبیاری، افزایش راندمان کاربرد آب، چه از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت و یا حذف آبیاری‌هایی است که کمترین بازدهی را دارند (۱). کنجد با نام انگلیسی *Sesame* و نام علمی *Sesamum indicum* یکی از قدیمی‌ترین گیاهان کشت شده توسط بشر و احتمالاً قدیمی‌ترین گیاه روغنی جهان است (۱۶) که دانه آن حدود ۵۵٪ روغن خوراکی دارد (۲۸).

در حدود ۱۰۰ سال پیش همزیستی (*Symbiosis*) مسالمت‌آمیز قارچ و گیاه توسط محققین مختلف توصیف گردید. پس از آن در مورد ساختمان، پراکندگی، فیزیولوژی و اکولوژی این روابط توضیحات زیادی داده شده است. در این

راستا، قارچ‌های میکوریزا بر اساس نقش خود به عنوان یک رابط بین خاک و گیاه در تغذیه گیاه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند. مطالعات ابتدایی روی ساختار میکوریزا اولین بار توسط آنگر (Unger) در سال ۱۸۳۰ صورت گرفت. واژه میکوریزا شامل دو اصطلاح میکو به معنی قارچ و ریزو به معنی ریشه می‌باشد و در سال ۱۸۵۵ برای اولین بار توسط برنارد فرانک (Frank) گیاه‌شناس آلمانی به همکاری بین قارچ و گیاهان عالی اطلاق گردید (۶). یکی از مهم‌ترین انواع میکوریزاها، میکوریزای آربوسکولار می‌باشد که از نظر کشاورزی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا اغلب گیاهان زراعی و باغی توانایی همزیستی با این نوع میکوریزا را دارند. این قارچ‌ها به جز گیاهان تیره اسفناج، شب‌بو، میخک و اوپارسلام، با بیش از ۸۷ درصد گونه‌های گیاهی در نهان‌دانگان، بازدانگان، سرخس‌ها و خزها همزیستی برقرار می‌کند (۱۴). این قارچ‌ها توانایی عبور از دانه سلول‌های پوست ریشه را دارند و با رشد در داخل کورتکس ریشه علاوه بر گسترش ریشه‌های بین سلولی اندام اختصاصی آربوسکول تولید می‌کنند که بر همین اساس میکوریزا آربوسکولار نام‌گذاری شده‌اند (۳). در بیشتر موارد، جذب آب و مواد غذایی در شرایط تنش خشکی در گیاهان میکوریزایی بیش از گیاهان غیر میکوریزایی است. مطالعات بسیاری نشان می‌دهد که قارچ میکوریزا سبب افزایش مقاومت به خشکی در برخی گیاهان مانند گندم (۸ و ۲۵)، پیاز (۲۳)، شبدر قرمز (۱۸)، گوجه‌فرنگی (۲۶) و لوبیا (۱۷) شده است.

مسیلیوم برون ریشه‌ای قارچ نقش مهمی بر روابط آبی گیاهان میزبان دارد و این امکان را برای گیاه فراهم می‌آورد که آب را از منافذ ریز خاک جذب نمایند (۱۰، ۱۱ و ۱۵). ریشه‌های بسیار ریز میکوریزا، با میانگین قطر ۴-۳ میکرومتر، در مقایسه با نازک‌ترین ریشه‌های موئین گیاهان که قطر آنها برابر یا بیشتر از ۱۰ میکرومتر است، می‌توانند با اتصال به ذرات خاک به منافذ خیلی ریز آن نفوذ نمایند (۱۹). به علاوه مسیلیوم خارجی قارچ استحکام خاکدانه‌ها را افزایش داده که موجب افزایش

موسه‌آ (*Glomus mosseae*) روی کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه و روغن کنجد (*Sesamum indicum* L.)، رقم زرقان مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آبیاری اعمال شده شامل تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد کمبود رطوبت خاک در هر نوبت آبیاری در دو حالت بدون کاربرد میکوریزا (به ترتیب W1، W2 و W3) و کاربرد میکوریزا (به ترتیب W1M، W2M و W3M) بودند. آب آبیاری با هدایت الکتریکی ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر و pH برابر با ۷/۹ از طریق چاه تأمین می‌شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

گونه قارچ میکوریزا استفاده شده در این تحقیق به روش زیر تکثیر، و برای انجام آزمایش آماده گردید.

خاک جمع‌آوری شده (با مشخصات مندرج در جدول ۲)، پس از آماده‌سازی (هواخشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری) در حرارت مرطوب (دستگاه اتوکلاو) در فشار ۲ اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت در دو روز متوالی استریل گردید. سپس خاک توزین و به مقدار مساوی (۵ کیلوگرم) در گلدان‌های پلاستیکی (به ابعاد ۲۲×۲۳ سانتی‌متر) ضد عفونی شده با هیپوکلریت سدیم ۰/۳۵، ریخته شد.

تعداد ۲۰ عدد بذر ضد‌عفونی‌شده را پس از جوانه‌دار نمودن در هر گلدان کاشته و به ازای هر کیلوگرم خاک استریل، مقدار ۲۵ گرم از ماده تلقیح گونه قارچ میکوریزا (شامل مخلوطی از خاک، ریشه، اسپور و سایر اندامک‌های تکثیری قارچ) حدود ۲ سانتی‌متر زیر بذرها قرار داده شد. پس از یک هفته، ۱۰ گیاه یک دست انتخاب و بقیه حذف شدند. در طی دوره تکثیر گلدان‌ها هر هفته یک بار با محلول غذایی لانگ اشتون بدون فسفر تغذیه گردید. مدت زمان لازم برای تکثیر گونه‌های قارچ ۶۰ روز بود. پس از ۶۰ روز اندام‌های هوایی گیاه از ناحیه طوقه بریده شده و درصد آغشتگی ریشه به قارچ میکوریزا اندازه‌گیری شد. بعد از اطمینان از آغشتگی مناسب، مخلوط خاک گلدان‌ها (هیف‌ها، اسپورها و ریشه‌های کلنیزه شده)

ذخیره رطوبت (۱۲) و بهبود جذب آب و فسفر می‌شود (۱۳، ۲۰ و ۲۱). قارچ میکوریزا از طریق تأثیر بر تخصیص کربن و افزایش غلظت متابولیت‌ها در بافت‌های ریشه و اندام‌هوایی روی متابولیسم گیاه تأثیر می‌گذارد. همزیستی میکوریزایی، معمولاً از طریق جذب عناصر غذایی و احتمالاً هیدراته شدن، رشد گیاه را افزایش می‌دهد. همچنین، این همزیستی به طور قابل ملاحظه‌ای، راندمان مصرف آب و کلنیزاسیون قارچ‌های مختلف را که تأثیر متفاوتی روی راندمان مصرف آب دارند، افزایش می‌دهد (۱۰).

روئیزولوزانو و همکاران (۲۴) با بررسی تحمل به خشکی گیاه کاهو (*Lactuca sativa* L. cv. Romana) با کاربرد قارچ میکوریزا *Glomus mosseae* گزارش کردند که در هر دو حالت تنش و بدون تنش آبی، راندمان کاربرد آب با کاربرد قارچ میکوریزا به صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد. ناگارتنا و همکاران (۲۲) در مطالعه اثر همزیستی میکوریزایی بر رشد آفتابگردان تحت شرایط تنش رطوبت خاک نتیجه گرفتند که کارایی مصرف آب و بازده تجمعی مصرف آب در گیاهان میکوریزایی آفتابگردان نسبت به گیاهان تلقیح نشده بیشتر بود و راندمان مصرف آب با سطح تنش رطوبتی کاهش یافت.

در مطالعه سوبرامانیان و همکاران (۲۶) روی گوجه‌فرنگی به این نتیجه رسیدند که کاربرد میکوریزا بر راندمان کاربرد آب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. به گونه‌ای که کاربرد میکوریزا باعث افزایش راندمان کاربرد آب در هر چهار تیمار تنش و بدون تنش شد. افزایش راندمان کاربرد آب در حالت تنش خشکی بیشتر از تیمار بدون تنش بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ۱۸ کرت آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در تابستان سال ۱۳۸۹، اجرا گردید.

در این آزمایش اثر عوامل قارچ میکوریزا آریوسکولار گلوموس

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

عمق خاک (۰-۴۰cm)	پارامتر اندازه‌گیری شده	عمق خاک (۰-۴۰cm)	پارامتر اندازه‌گیری شده
۷/۹	اسیدیته خاک (pH)	لومرسی	بافت خاک
۰/۹	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS/m)	۳۲	الف- درصد شن
	عناصر غذایی	۴۰/۲	ب- درصد سیلت
۳۸۰	الف- پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	۲۷/۸	ج- درصد رس
۲۴/۷	ب- فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	۱/۴۵	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)
۰/۱	ج- نیتروژن کل (درصد)	۲۶/۲	درصد رطوبت حجمی ظرفیت زراعی
۰/۹	ماده آلی (درصد)	۱۱	درصد رطوبت حجمی نقطه پژمردگی

جدول ۲. برخی از خصوصیات خاک مورد استفاده برای تهیه مایه تلقیح قارچ میکوریزا

pH	EC(dS/m)	P(mg/kg)	N(%)	K(mg/kg)	OC(%)	TNV(%)	SP(%)	بافت خاک
۸/۷	۰/۷۶	۱۲	۰/۰۳	۱۳۵	۰/۳	۵۳	۲۴	لوم‌شنی

تأمین رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی محاسبه شد. سایر تیمارهای آبی، ضربی از عمق آب‌آبیاری تیمار ۱۰۰ درصد را دریافت کردند. ضریب ۰/۸ برای سطح کم‌آبیاری اول و ضریب ۰/۶ برای سطح کم‌آبیاری دوم اعمال گردید. زمان آبیاری بر اساس مقدار تخلیه رطوبت خاک در ناحیه توسعه ریشه با اعمال ضریب MAD برابر ۰/۶ (۹) به شرح زیر محاسبه شد:

$$\theta_{I-t} = \theta_{FC} - [(\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD] \quad [1]$$

که در این رابطه، θ_{I-t} رطوبت حجمی خاک در عمق توسعه ریشه در زمان آبیاری (اعشار)، θ_{FC} رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (اعشار)، θ_{PWP} رطوبت حجمی خاک در حد نقطه پژمردگی (اعشار) و MAD تخلیه مجاز رطوبتی می‌باشد.

زمانی که رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه به θ_{I-t} رسید، آبیاری انجام شد. عمق آب‌آبیاری در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$SMD = \sum_{i=1}^n (\theta_{FC} - \theta_{I-t}) \times D_i \quad [2]$$

تخلیه و ریشه‌های تلقیحی کاملاً خرد و با خاک مخلوط شده و به عنوان ماده تلقیح قارچی مورد استفاده قرار گرفت.

در این مطالعه، آبیاری به روش قطره‌ای- نواری (تیپ) اعمال گردید. در این سیستم از نوار تیپ دارای قطر ۱۶ میلی‌متر با فاصله روزنه ۲۰ سانتی‌متر و دبی هر متر طول نوار تیپ ۹/۷ لیتر بر ساعت در فشار کارکرد ۰/۸ بار استفاده شد. این نوارها در سطح خاک و در کنار ردیف‌های کشت قرار داده شدند. برای محاسبه نیاز آبی، رطوبت حجمی واقعی خاک به صورت روزانه در دوره رشد، در عمق‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری خاک توسط دستگاه رطوبت سنج PR2 ساخت شرکت دلتا-تی (Delta-T) کشور انگلستان در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد کمبود رطوبتی خاک در ۳ تکرار آن قرائت شد. اساس کار دستگاه بر ثابت دی الکتریک آب بوده و برای خاک مزرعه واسنجی شد. در طول دوره رشد، عمق توسعه ریشه با نمونه‌برداری از ریشه گیاه با حفر گودال، اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیری رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد، کمبود رطوبتی خاک در عمق توسعه ریشه تعیین و عمق آب مورد نیاز برای

کارایی مصرف آب برای نشان دادن رابطه کمی میان رشد گیاه و مصرف آب به کار برده شده و به صورت مقدار ماده گیاهی تولید شده به ازای واحد آب مصرف شده تعریف می‌گردد (۵). کارایی مصرف آب طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود (۴):

$$WUE = \frac{D}{W} \quad [4]$$

که در این رابطه، WUE کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم محصول بر متر مکعب آب، D جرم ماده خشک تولید شده بر حسب کیلوگرم و W حجم آب مصرف شده توسط گیاه بر حسب مترمکعب می‌باشد.

در عمل، نمایه‌ای که برای کارایی مصرف آب به کار می‌رود مفهوم زراعی آن است (WUE_{ag}) که، کارایی کلی و زراعی مصرف آب (Overall Agronomic Efficiency of Water Use) نامیده می‌شود و مقدار آن برابر است با:

$$WUE_{ag} = \frac{P}{W} \quad [5]$$

در این رابطه P تولید محصول (یا برحسب ماده خشک و یا محصول قابل ارائه به بازار) و W مقدار آب مصرفی ناخالص اعم از آب مصرف شده توسط گیاه و آب تلف شده در مزرعه چه به صورت رواناب و چه به صورت نفوذ عمقی و تبخیر می‌باشد (۴).

برای محاسبه عملکرد دانه در واحد سطح مساحتی معادل ۲ متر مربع از ۵ خط کشت میانی با رعایت حاشیه برداشت گردید و پس از خرمن کوبی، با ترازوی دقیق توزین شد. مقدار روغن دانه هر کرت توسط دستگاه NIR که برای کنجند واسنجی شده بود اندازه‌گیری شد. بدین منظور نمونه بذر کنجند آسیاب شده و در دستگاه NIR قرار داده شد. عدد قرائت شده توسط دستگاه به صورت درصد بود. عملکرد روغن در واحد سطح در هر کرت، با استفاده از درصد روغن دانه و عملکرد دانه در واحد سطح در برداشت نهایی محاسبه شد.

برای انجام محاسبات آماری از برنامه کامپیوتری SAS و برای رسم نمودارها از برنامه کامپیوتری Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

که در این رابطه، SMD کمبود رطوبتی خاک (میلی‌متر)، θ_{FC} رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (اعشار)، θ_{Ir-f} رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (اعشار)، D عمق لایه خاک (میلی‌متر) و i شمارش‌گر تعداد لایه‌های خاک می‌باشد. سایر تیمارهای آبیاری همزمان با تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری شدند، اما عمق آب دریافتی آنها بر اساس ضرایب ۱، ۰/۸ و ۰/۶ به ترتیب برای تیمارهای ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد بود. اندازه‌گیری و کنترل مقدار آب آبیاری توسط شیرهای گازی و کنترل حجمی که روی لوله پلی‌اتیلنی انتقال آب و شیرهای پلی‌اتیلنی که در ورودی آب به هر پلات تعبیه شده بود، انجام می‌شد. فشار ورودی به سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از فشارسنج نصب شده در ورودی سیستم، توسط لوله کنارگذر تخلیه فشار ثابت نگه داشته می‌شد. مدت زمان آبیاری با توجه به حجم آب خروجی در واحد زمان و حجم مورد نیاز آبیاری تعیین شد.

راندمان کاربرد (E_a) در این آزمایش، با توجه به ضریب یکنواختی (EU) تعیین شده با انجام آزمایش در مزرعه، برابر ۹۵/۲۸٪ و با در نظر گرفتن نسبت تعرق به مصرف (TR) برابر ۹۵/۰٪ برای طرح، با استفاده از رابطه ۳ برابر ۹۰/۵۱٪ به دست آمد.

$$E_a = TR \times EU \quad [3]$$

عملیات آماده‌سازی بستر در خرداد ماه انجام گرفت. قبل از کاشت برای تعیین میزان کود مورد نیاز، آزمون خاک صورت گرفت. برای تیمارهای کاربرد قارچ میکوریزا، به ازای هر بذر ۱۰ گرم از مایه تلقیح (شامل مخلوطی از خاک، ریشه، اسپور و سایر اندامک‌های تکثیر قارچ)، در عمق ۲ سانتی‌متری (حدود ۱ سانتی‌متر زیر بذر) قرار داده شد. سپس لایه نازکی از خاک روی آن ریخته شد و بذر در عمق ۱ سانتی‌متر خاک قرار گرفتند. عملیات کاشت در تاریخ ۱۷ تیرماه ۱۳۸۹ توسط دست انجام گرفت. هر کدام از پلات‌ها دارای طول ۴ متر و عرض ۳/۵ متر بودند. در هر پلات آزمایشی ۷ خط کشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر قرار داشتند. فاصله تیمارها در هر تکرار ۱/۵ متر و فاصله تکرارها از یکدیگر ۳ متر بود.

نتایج و بحث

در کل دوره ۱۱۷ روزه رشد (هفدهم تیر الی دهم آبان ماه سال ۱۳۸۹)، ۲۷ مرتبه آبیاری اعمال شد. تا مرحله ۶ برگی شدن کنگد (استقرار کامل گیاه) آبیاری تمام تیمارها یکسان بود، پس از آن (آبیاری دوازدهم به بعد) تیمارهای آبیاری اعمال گردید. مقادیر آب آبیاری بر اساس سطوح مورد نظر (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و عملکرد دانه و روغن در جدول ۳ و عمق آب کاربردی به صورت تجمعی در شکل ۱ ارائه شده است. همان گونه که مشخص است با افزایش آب مصرفی در واحد سطح مقدار محصول دانه و روغن نیز افزایش پیدا کرده است. میانگین تغییرات رطوبت خاک در منطقه توسعه ریشه در شکل ۲ و روند تغییرات طول ریشه در دوره رشد در شکل ۳ نشان داده شده است. طول ریشه از اوایل فصل رشد از ۵ سانتی متر به مقدار نهایی خود در انتهای فصل به حدود ۳۸ سانتی متر رسید.

اثر رژیم های آبیاری بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه معنی دار نشد (جدول ۴). با توجه به این که کارایی زراعی مصرف آب حاصل نسبت عملکرد محصول به مقدار آب ناخالص مصرفی می باشد، برای معنی دار شدن اختلاف بایستی نسبت کاهش محصول با نسبت کاهش آب آبیاری اختلاف داشته باشند. بیشترین کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه مربوط به تیمار W_1 می باشد. در بقیه تیمارها، با کاهش آب آبیاری، میزان کارایی مصرف آب محصول دانه نیز کاهش پیدا کرده است.

اثر رژیم های آبیاری بر کارایی زراعی مصرف آب محصول روغن در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۴). بیشترین کارایی مصرف آب محصول روغن مربوط به تیمار W_1 می باشد. در بقیه تیمارها با کاهش آب آبیاری میزان کارایی مصرف آب محصول روغن نیز کاهش پیدا کرده است (جدول ۵). اثر کاربرد قارچ میکوریزا بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه و محصول روغن در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۴). کارایی

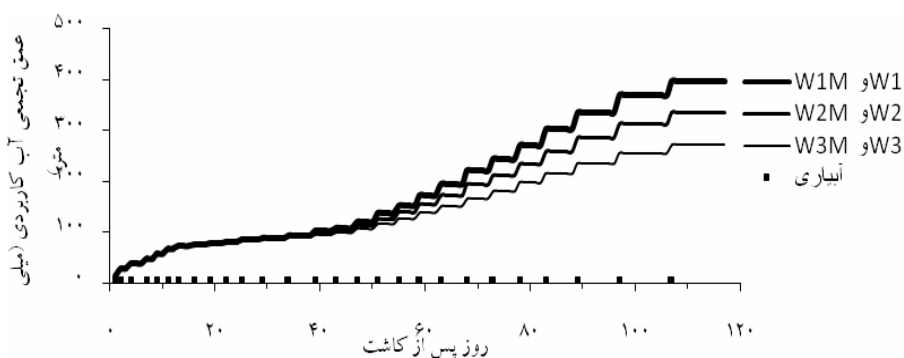
مصرف آب در گیاهان تلقیح شده و تلقیح نشده از نظر محصول دانه به طور متوسط به ترتیب برابر ۰/۷۱ و ۰/۵۹ و برای محصول روغن به ترتیب برابر ۰/۴ و ۰/۳۳ بود که نشان دهنده افزایش محصول به نسبت آب مصرفی در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزاست (جدول ۵). در تمام سطوح آبیاری، با کاربرد قارچ میکوریزا، میزان عملکرد محصول نیز افزایش پیدا کرد. بنابراین با کاربرد مقدار مساوی آب آبیاری در یک تیمار، میزان محصول دانه و روغن بیشتری در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا تولید شده است که نتیجه آن افزایش کارایی مصرف آب می باشد. روئیزولوزانو و همکاران (۲۴) و ناگارتنا و همکاران (۲۲) نیز با مطالعه روی کاهو و آفتاب گردان به نتایج مشابهی با این آزمایش دست یافتند. اثر متقابل میکوریزا و آبیاری بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه و روغن در واحد سطح معنی دار نشد (جدول ۴).

در شکل ۴ رابطه بین کارایی زراعی مصرف آب و عملکرد دانه و روغن نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می شود تیمارهای میکوریزایی نسبت به غیر میکوریزایی از کارایی زراعی مصرف آب بالاتری برخوردار هستند. از نظر محصول دانه، در تیمارهای بدون میکوریزا با افزایش عملکرد در تیمارهای ۶۰ تا ۱۰۰ درصد، کارایی مصرف آب نیز افزایش یافته است. در تیمارهای میکوریزایی به دلیل افزایش اثر مثبت میکوریزا بر افزایش محصول در تیمارهای تنش آبی، تیمار آبیاری ۸۰ درصد، بیشترین مقدار کارایی زراعی مصرف آب را داراست. مطابق با این نتایج، در مطالعه سوبرامانیان و همکاران (۲۶) روی گوجه فرنگی نیز به این نتیجه رسیدند که با حضور میکوریزا، افزایش راندمان کاربرد آب در حالت تنش خشکی بیشتر از تیمار بدون تنش بود. از نظر محصول روغن نیز روند افزایشی از تیمار آبی ۶۰ درصد تا ۱۰۰ درصد در هر دو تیمار با میکوریزا و بدون میکوریزا دیده می شود.

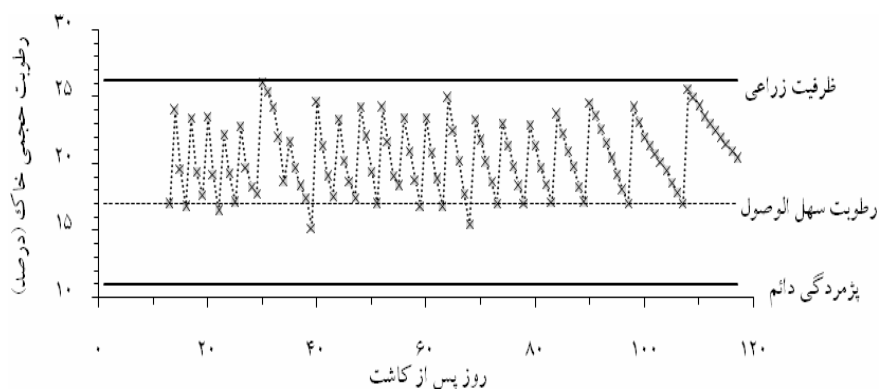
بیشترین کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه (۰/۷۴)

جدول ۳. میزان آب مصرفی و عملکرد دانه و روغن کنجد در تیمارهای آبیاری و میکوریزا

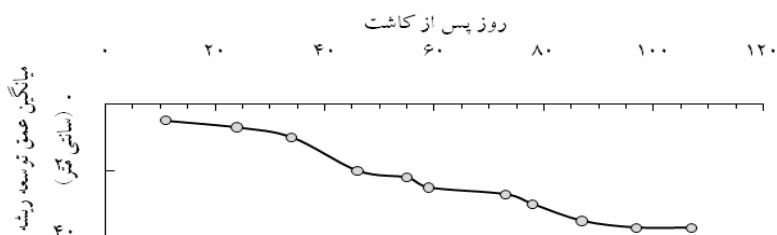
تیمار آبیاری	تیمار میکوریزا	آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)
٪۱۰۰	بدون میکوریزا	۳۹۷۹/۶	۲۵۵۷/۰	۱۴۹۴/۵
٪۸۰	بدون میکوریزا	۳۳۵۵/۵	۲۰۰۷/۴	۱۰۸۶/۷
٪۶۰	بدون میکوریزا	۲۷۳۱/۳	۱۴۶۰/۲	۷۷۳/۱
٪۱۰۰	با میکوریزا	۳۹۷۹/۶	۲۸۳۹/۴	۱۶۹۷/۹
٪۸۰	با میکوریزا	۳۳۵۵/۵	۲۴۹۱/۶	۱۳۸۲/۸
٪۶۰	با میکوریزا	۲۷۳۱/۳	۱۸۹۱/۲	۱۰۰۹/۳



شکل ۱. نمودار تجمعی آب کاربردی در تیمارهای آبیاری



شکل ۲. تغییرات میانگین رطوبت در منطقه توسعه ریشه در دوره رشد



شکل ۳. تغییرات طول ریشه در دوره‌ی رشد

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه و محصول روغن

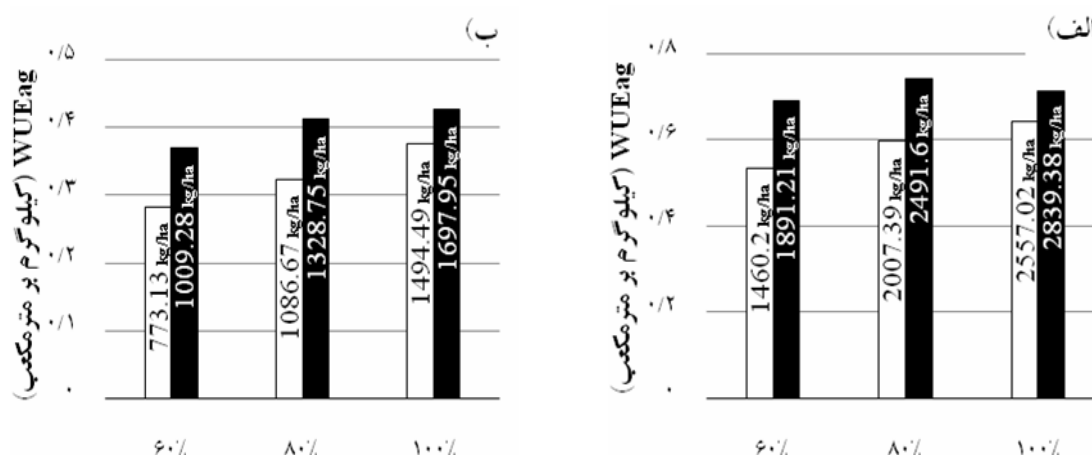
میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه	کارایی زراعی مصرف آب محصول روغن		
۰/۰۸۷۸**	۰/۰۲۸۷**	۲	بلوک
۰/۰۰۷۴۵ ^{ns}	۰/۰۰۸۴۱*	۲	آبیاری
۰/۰۰۶۹۵**	۰/۰۲۵۵۹**	۱	میکوریزا
۰/۰۰۳۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۶۶ ^{ns}	۲	آبیاری×میکوریزا
۰/۰۰۰۴۱	۰/۰۰۰۱۲	۱۰	خطا

*, **, ns: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی دار بودن در سطح احتمال ۵٪.

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثر عوامل آزمایشی بر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه و محصول روغن

عوامل آزمایشی		کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه (کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی)	کارایی زراعی مصرف آب محصول روغن (کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی)
رژیم آبیاری			
W1 (۱۰۰ درصد آب مورد نیاز)	۰/۶۸ ^a	۰/۴۰ ^a	
W2 (۸۰ درصد آب مورد نیاز)	۰/۶۷ ^a	۰/۳۷ ^{ab}	
W3 (۶۰ درصد آب مورد نیاز)	۰/۶۱ ^a	۰/۳۳ ^b	
میکوریزا			
تلقیح شده	۰/۷۱۶۱ ^a	۰/۴۰۳ ^a	
تلقیح نشده	۰/۵۹۱۸ ^b	۰/۳۲۷ ^b	

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.



شکل ۴. کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه (الف) و روغن (ب) در دو حالت بدون کاربرد میکوریزا (میله‌های سفید رنگ) و با کاربرد میکوریزا (میله‌های سیاه رنگ) در تیمارهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد

آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی با کاربرد قارچ میکوریزا بیشترین کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه و تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی با کاربرد قارچ میکوریزا بیشترین کارایی زراعی مصرف آب محصول روغن را دارا هستند. از نظر کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه و روغن، تیمار آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار با تیمار ۱۰۰ درصد نداشتند. بنابراین در سال‌هایی که با کمبود آب مواجه هستیم کاربرد قارچ میکوریزا می‌تواند تا حدی خسارات ناشی از تنش آبی را کاهش دهد. هم‌چنین با کم‌آبیاری به میزان ۸۰ درصد تأمین کمبود رطوبتی خاک مفید واقع می‌شود. با توجه به بحران آب کنونی که در کشور حاکم است، بایستی در میزان آب مصرفی در کشاورزی صرفه‌جویی شود.

کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به رژیم آبیاری ۸۰ درصد و تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا و کمترین آن (۵۳/۰ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به رژیم آبیاری ۶۰ درصد و بدون تلقیح بود. بیشترین کارایی زراعی مصرف آب محصول روغن (۴۳/۰ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد و تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا و کمترین آن (۲۸/۰ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به رژیم آبیاری ۶۰ درصد و بدون تلقیح بود.

نتیجه‌گیری

کارایی زراعی مصرف آب محصول دانه و روغن از تیمار ۶۰ درصد تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی، روند افزایشی داشت. کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب محصول دانه و روغن شد. با توجه به نتایج بدست آمده، تیمار

منابع مورد استفاده

۱. عابدی‌کوپایی، ج. و ر. سلیمانی. ۱۳۸۴. کم‌آبیاری روشی برای ارتقای بهره‌وری آب در کشاورزی. مجموعه مقالات همایش بهره‌وری آب در کشاورزی، اصفهان.
۲. عابدی‌کوپایی، ج. و م. نوروزی. ۱۳۸۰. افزایش کارایی مصرف آب در سیستم آبیاری قطره‌ای. خلاصه مقالات پنجمین همایش بهداشت محیط کشور، تهران.
۳. علی‌اصغرزاده، ن. و ن. صالح‌راستین. ۱۳۸۰. اهمیت قارچ‌های میکوریزا در کشاورزی. مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور. نشر آموزش کشاورزی، تهران.
۴. عزیززاده، ا. ۱۳۸۴. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).
۵. کشاورزی، ع. و ن. حیدری. ۱۳۸۳. نگرشی بر اسراف و ضایع نمودن منابع آب کشور در مراحل تولید و مصرف محصولات کشاورزی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، ۳۹-۵۱.
۶. مستاجران، ا. و ف. ضوی. ۱۳۷۸. همزیستی میکوریزا. انتشارات دانشگاه اصفهان.
۷. میرئی، م. و ع. فرشی. ۱۳۸۲. چگونگی مصرف و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صفحات ۲۰۳-۲۳۱.
8. Allen, M. F. 1982. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on water movement through *Bouteloua gracilis* (H. B. K.) Lag ex Steud. New Phytol. 91: 191-196.
9. Allen R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. FAO, Irrig. and Drain. Paper. No. 56.
10. Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11: 3-42.
11. Auge, R. M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. Can. J. Soil Sci. 84: 373-381.

12. Auge, R. M., A. J. Stodola, J. E. Tims and A. M. Saxton. 2001. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant Soil* 230: 87-97.
13. Auge, R. M., J. L. Moore, J. C. Stutz, D. M. Sylvia, A. K. AI-Agely and A. M. Saxton. 2003. Relating foliar dehydration tolerance of mycorrhizal *phaseolus vulgaris* to soil and root colonization by hypha. *J. Plant Physiol.* 160: 1147-1156.
14. Azcon, R. and F. El-Atrach. 1997. Influence of arbuscular mycorrhizae and phosphorus fertilization on growth, nodulation and N₂ fixation in *Medicago sativa* at four salinity levels. *Biol. Fertil. Soils* 24: 81-86.
15. Bearden, B. N. 2001. Influence of arbuscular mycorrhiza fungi on soil structure and soil water characteristics of vertisols. *Plant Soil* 229: 245-258.
16. Dorothea, B. and J. R. Harlan. 1986. Evidence for cultivation of sesame in the ancient world. *Econ. Bot.* 10: 137-154.
17. El-Tohamy, W., W. H. Schnitzler, U. El-Behairy and M. S. El-Betagy. 1999. Effect of VA mycorrhiza on improving drought and chilling tolerance of bean plants. *J. Exp. Bot.* 73: 178-183.
18. Fitter, A. H. 1988. Water relations of red clover *Trifolium pratense* L. as affected by VA mycorrhizal infection and phosphorus supply before and during drought. *J. Exp. Bot.* 39: 595-603.
19. Jakobsen, I. 1995. Transport of phosphorus and carbon in VA mycorrhiza. PP. 297-324. *In: A. Varma, and B. Hock (Eds.), Mycorrhiza Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology, Springer, Berlin.*
20. Khalvati, M. A., Y. Hu, A. Mozafar and U. Schmidhalter. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biol.* 7: 706-712.
21. Marulanda, A., R. Azcon and J. M. Ruiz-Lozano. 2003. Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress. *Plant Physiol.* 119: 526-533.
22. Nagarathna, T. K., T. G. Prasad, D. J. Bagyaraj and Y. G. Shadakshar. 2007. Effect of arbuscular mycorrhiza and phosphorus levels on growth and water use efficiency in sunflower at different soil moisture status. *J. Agric. Technol.* 3: 221-229.
23. Nelsen, C. E. and G. R. Safir. 1982. The water relation of well-watered, mycorrhizal and nonmycorrhizal onion plant. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 271-274.
24. Ruiz-Lozano, J. M., R. Azcon and M. Gomez. 1995. Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Appl. Environ. Microbiol.* 61(2): 456-460.
25. Ryan, M. H. and J. E. Ash. 1996. Colonization of wheat in sothern New South Wales by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi is significantly reduced by drought. *Aust. J. Exp. Agric.* 36: 563-569.
26. Subramanian, K. S., P. Santhanakrishnan and P. Balasubramanian. 2006. Response of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Sci. Hort.* 107: 245-253.
27. Viswanatha, G. B., B. K. Ramachandrappa and H. V. Nanjappa. 2002. Soil-plant water status and yield of sweet corn (*Zea Mays* L. cv. *Saccharata*) as influenced by drip irrigation and planting methods. *Agric. Water Manage.* 55: 85-91.
28. Wiess, E. A. 1997. *Essential Oil Crops*. CAB International., USA.

Effects of Irrigation Regimes and Mycorrhiza on Overall Agronomic Water Use Efficiency of Sesame (*Sesamum indicum* L.)

A. Ahmadnejad*, J. Abedi Koupai and F. Mousavi¹

(Received : March 3-2012 ; Accepted : Aug. 13-2012)

Abstract

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the most important oilseed crops in the world. Drought stress is one of the environmental factors limiting sesame production. The effects of water deficiency can be reduced by inoculation of plant roots with mycorrhiza fungi. In this experiment, the objective was to determine the effects of different levels of water application (60, 80 and 100% of soil moisture depletion) using surface drip irrigation method and inoculation of plants with mycorrhiza on WUE_{ag} of sesame. The experiment was arranged using a factorial design based on randomized complete block design with three replications. The field experiment was conducted at the Agricultural Research Farm of Isfahan University of Technology in 2011. Results showed that the effect of irrigation regime on WUE_{ag} of seed yield was not significant. However, the effect of mycorrhiza on WUE_{ag} of seed yield was significant. The highest WUE_{ag} (0.74 kg/m³) was related to irrigation regime of 80% and mycorrhiza. The effect of irrigation regime and mycorrhiza on WUE_{ag} of oil yield were significant. The highest WUE_{ag} (0.43 kg/m³) was related to irrigation regime of 100% and mycorrhiza inoculation.

Keywords: Sesame, Mycorrhiza, Surface drip irrigation, WUE_{ag}.

1. Dept. of Water Eng., College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: ab.ahmadnejad@yahoo.com