



برهم کنش انواع کود و تنش خشکی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد گل مغربی (*Oenothera biennis* L.)

محمود محمدی^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۲*}، همت‌اله پیردشتی^۳، زین‌العابدین طهماسبی سروسستانی^۴ و بهنام زند^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷

محمدی، م.، مدرس ثانوی، س.ع.م.، پیردشتی، ه.، طهماسبی سروسستانی، ز. و زند، ب. ۱۳۹۸. برهم کنش انواع کود و تنش خشکی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد گل مغربی (*Oenothera biennis* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱ (۴): ۱۴۰۷-۱۳۸۹.

چکیده

تغییرات شرایط محیطی طی دوره‌ی رشد گیاه غیرقابل پیش‌بینی است و از این‌رو ایجاد تنش در هنگام رشد گیاه امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد؛ یکی از مهم‌ترین این تنش‌ها، تنش کم‌آبی می‌باشد. بنابراین، برای بهبود بهره‌وری رشد و تولید گیاه در شرایط تنش، علاوه بر اعمال نهاده‌های کشاورزی مناسب (کاربرد کودهای شیمیایی و بیولوژیکی)، نیاز به شناخت و درک فرآیندهای مورفوفیزیولوژیکی گیاه می‌باشد. در همین زمینه آزمایشی با هدف بررسی اثر برهم‌کنش انواع کود و تنش خشکی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد گل مغربی (*Oenothera biennis* L.) به‌صورت مزرعه‌ای در دو شهرستان تهران و ورامین در سال ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل سه تیمار بدون تنش آبی (۵۰٪ از ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (۴۰٪ از ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۳۰٪ از ظرفیت زراعی) بود و عوامل فرعی شامل کاربرد کود شیمیایی در سه سطح (بدون مصرف کود، مصرف ۵۰ و ۱۰۰٪ نیتروژن + فسفر مورد نیاز)، قارچ میکوریزا و باکتری *آزوسپیریوم* (کاربرد و عدم کاربرد) در نظر گرفته شد. اعمال تنش کم‌آبی (متوسط و شدید) باعث کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و محتوای نسبی آب شد. بالاترین میزان کارایی مصرف آب در تنش کم‌آبی متوسط و بیش‌ترین میزان وزن خشک ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی و آنزیم کاتالاز در تنش کم‌آبی شدید مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد کاربرد کودهای شیمیایی (نیتروژن و فسفر) و بیولوژیکی (میکوریزا و *آزوسپیریوم*) می‌تواند اثرات منفی تنش کم‌آبی را بر عملکرد گل مغربی کاهش داده و سبب بهبود رشد آن شود.

واژه‌های کلیدی: *آزوسپیریوم*، کم‌آبی، کود بیولوژیکی، میکوریزا

مقدمه

(*Oenothera biennis* L.) از مهم‌ترین گیاهان دارویی با اثرات

ضد‌آلرژی، ضد‌التهاب، ضدسرطان، قابض، ملین و کاهش‌دهنده کلسترول می‌باشد (Ghasemnezhad & Honermeier, 2008).

تنش در گیاهان عبارت است از تأثیر منفی تعدادی از عوامل زنده و غیرزنده در مکانیسم‌های سلولی گیاه که می‌تواند منجر به اختلال در روند تولید ریشه، اندام هوایی و کاهش عملکرد شود (Pirzad et al., 2011; Shahryari, 2018). خشکی به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیرزنده از مهم‌ترین تنش‌ها بوده و اثر نامطلوبی بر رشد و عملکرد گیاهان می‌گذارد (Abdalla et al., 2007; Goodarzi &

تقاضا برای تولید گیاهان دارویی و محصولات طبیعی (فرآیندهای تولید بدون مصرف مواد شیمیایی) در جهان رو به افزایش است (Fieldsend & Morison, 2001). در بین آن‌ها، گل مغربی

۱، ۲، ۳ و ۵- به‌ترتیب دانشجوی دکتری زراعت و استاد گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس، دانشیار گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشیار گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس و استاد مرکز تحقیقات کشاورزی تهران، ایران

(*) نویسنده مسئول: Email: modaresa@modares.ac.ir

Doi: 10.22067/jag.v11i4.72722

نگهداری گیاهان فضای سبز شهرداری منطقه ۱۴ (واقع در تهران) در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۱۸۹ متر از سطح دریا و در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران (واقع در ورامین) با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه، ۲۳ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه، ۵۳ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۹۱۴ متر از سطح دریا انجام شده است. نمونه‌های خاک از پنج نقطه تصادفی از عمق‌های صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر از خاک تهیه و همراه نمونه آب آبیاری به آزمایشگاه منتقل شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جداول ۱ و ۲ به همراه تجزیه شیمیایی آب آبیاری در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی به‌دست آمده و در شکل ۱ ارائه شده است.

مشخصات آماری و اجرای طرح

به‌منظور ارزیابی اثر هم‌زیستی میکوریزی، باکتری *آزوسپیریوم*، کود شیمیایی نیتروژن + فسفر بر خصوصیات فیزیولوژیک گل مغربی در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد؛ تیمارهای عامل اصلی شامل سه تیمار بدون تنش آبی (آبیاری در زمان ۵۰٪ ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (آبیاری در زمان ۴۰٪ ظرفیت زراعی) و تنش شدید (آبیاری در زمان ۳۰٪ ظرفیت زراعی) بود و ترکیب فاکتوریل از سه رژیم شامل کود شیمیایی (بدون مصرف کود، مصرف ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیتروژن + فسفر مورد نیاز گیاه)، کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزی و باکتری به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد؛ سپس مقدار ۱۶ گرم از خاکی که شامل ریشه، خاک و اسپور قارچ می‌باشد از شرکت زیست‌فناوری سبز آسیا تهیه، و هم‌زمان با کاشت بذرها در کیسه‌های نشاء با ابعاد ۳۰×۲۰ به‌میزان هشت گرم برای هر بذر در هنگام کاشت در کیسه نشاء استفاده و هنگام انتقال و کاشت نشاءها به مزرعه نیز به‌میزان هشت گرم برای هر نشاء در اطراف هر بوته به‌کار گرفته شد. باکتری تهیه شده از شرکت زیست‌فناوری سبز آسیا، در سه مرحله به شرح زیر استفاده شد: مرحله اول به‌صورت پذرمان و به‌میزان دو لیتر در هکتار، مرحله دوم همراه با آب آبیاری در مرحله هفت‌برگی در کیسه‌های نشاء و مرحله سوم یک ماه بعد از مرحله دوم به‌صورت محلول در آبیاری در مزرعه استفاده شد.

Tohidinejad, 2018). گزارش شده است تنش خشکی باعث کاهش عملکرد اندام هوایی در برنج (*Oryza sativa* L.) (Chu et al., 2014) به‌دلیل کاهش توسعه سلولی (Ahmed et al., 2009; Tahramooz & Ghalavand, 2018)، افزایش رشد ریشه در برنج (Chu et al., 2014)، کاهش سطح برگ و ارتفاع بوته در گندم (*Triticum aestivum* L.) (Liu et al., 2015)، کاهش فسفر بوته در یونجه (*Medicago sativa* L.) (Mouradi et al., 2016)، افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی در برنج (Chu et al., 2014)، کاهش محتوای نسبی آب در لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Zegaoui et al., 2017) و کاهش عملکرد دانه در گندم (Liu et al., 2015) می‌گردد.

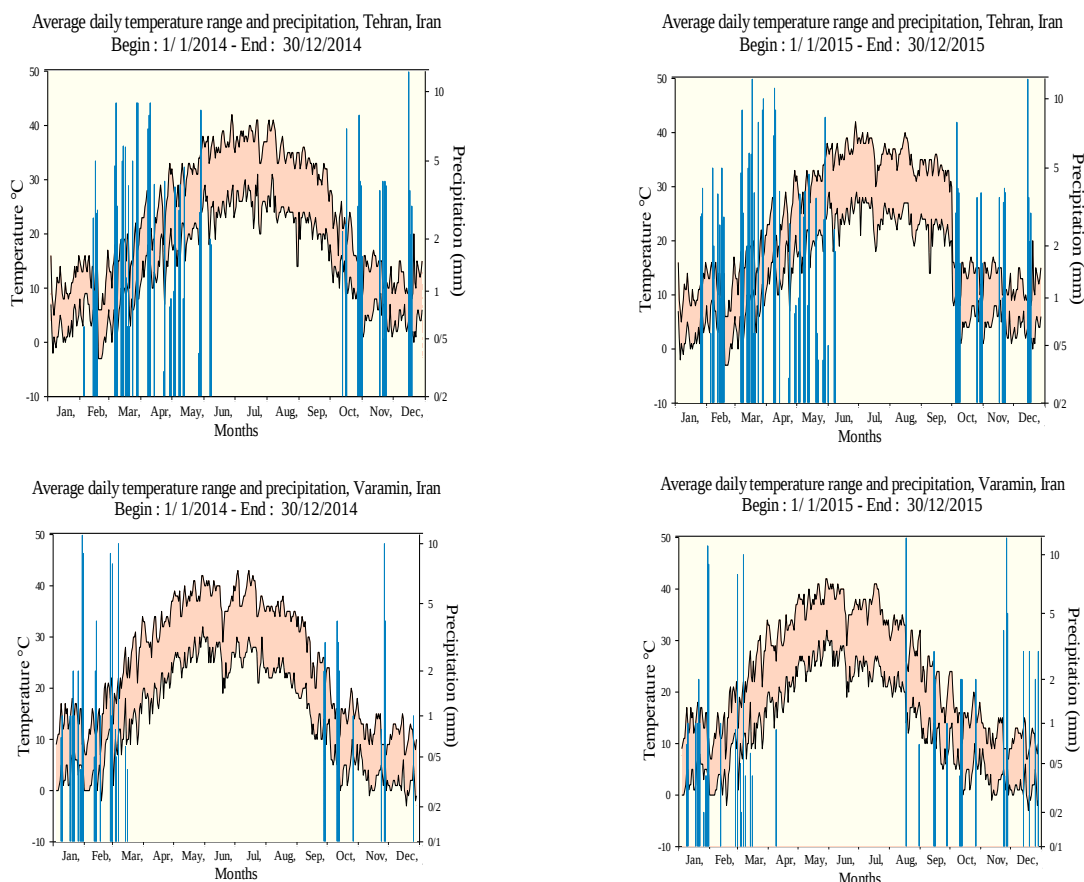
از مهم‌ترین کودهای بیولوژیک قابل استفاده در مزارع میکوریزا و *آزوسپیریوم* می‌باشد (Elhindi et al., 2017). نتایج تحقیقات نشان داده است که قارچ‌های میکوریزا و *آزوسپیریوم* قادر هستند اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل نمایند (Vurukonda et al., 2016). از مهم‌ترین اثرات مطلوب کاربرد کود بیولوژیک در شرایط تنش خشکی می‌توان تغییر در سطح بعضی هورمون‌های گیاهی مثل آبسزیک‌اسید (Caravaca et al., 2005)، ایندول استیک اسید (Piccinin et al., 2013)، جذب مستقیم آب توسط هیف‌های قارچ در خاک و انتقال آن به گیاه میزبان (Elhindi et al., 2017)، افزایش تبادلات گازی برگ، میزان فتوسنتز و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ذرت (*Zea mays* L.) (Merlos et al., 2016)، آسمیلاسیون عالی نیترات و فسفر (Asrar & Elhindi, 2011)، افزایش جذب آب از طریق افزایش هدایت هیدرولیکی آب برگ، فعالیت فتوسنتزی برگ، تنظیم اسمزی و تغییر در انعطاف‌پذیری غشای سلولی (Asrar & Elhindi, 2011) را نام برد.

مطالعه حاضر با هدف اثر کاربرد کودهای شیمیایی (نیتروژن + فسفر) و بیولوژیک (میکوریزا و *آزوسپیریوم*) بر میزان ماده خشک اندام هوایی، ماده خشک ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی، کاتالاز، محتوای نسبی آب، راندمان مصرف آب و عملکرد بذر در شرایط کمبود آب انجام شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات مکان‌های اجرای طرح

آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای و در دو منطقه شامل مزرعه



شکل ۱- داده‌های هواشناسی مناطق تهران و ورامین

میانگین بارش در تهران < ورامین و دما در ورامین < تهران

Fig. 1- Meteorological data at agro-met observatory for Tehran and Varamin regions

The annual total precipitation for Tehran was higher than Varamin, and temperature of Varamin was higher than Tehran.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی خاک محل‌های آزمایش

Table 1- Soil physical properties of experiment station

منطقه تهران Tehran region							
عمق Depth (cm)	توزیع اندازه ذرات Particle size distribution (%)				نقطه پژمردگی Wilting point	هدایت هیدرولیکی Hydraulic conductivity	
	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	ماده آلی Organic matter	بافت Texture	(%)	(cm.s ⁻¹)
0-30	47	16	37	2.94	رسی شنی Sandy clay	3.21	2.7×10 ⁻³
30-60	47	17	37	2.31	رسی شنی Sandy clay	3.21	2.7×10 ⁻³
منطقه ورامین Varamin region							
عمق Depth (cm)	توزیع اندازه ذرات Particle size distribution (%)				نقطه پژمردگی Wilting point	هدایت هیدرولیکی Hydraulic conductivity	
	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	ماده آلی Organic matter	بافت Texture	(%)	(cm.s ⁻¹)
0-30	39	18	43	3.12	رسی Clay	3.93	2.2×10 ⁻³
30-60	39	18	43	3.01	رسی Clay	3.93	2.2×10 ⁻³

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی خاک محل های آزمایش

Table 2- Soil chemical properties of experiment station

منطقه تهران							
Tehran region							
عمق Depth (cm)	یون مثبت Cations			یون منفی Anions			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺
	(mg.kg ⁻¹)			(meq.L ⁻¹)		(g.kg ⁻¹)	
0-30	1.87	28.50	13.29	0.34	0.021	1.86	0.19
30-60	1.05	36.84	3.76	0.35	0.031	1.72	0.12
عمق Depth (cm)	یون مثبت Cations			یون منفی Anions			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺
	(mg.kg ⁻¹)			(meq.L ⁻¹)		(g.kg ⁻¹)	
0-30	54.87	63.12	65.78	0.34	1.34	2.79	1.13
30-60	14.64	24.86	3.23	0.56	0.43	1.02	0.54
منطقه ورامین							
Varamin region							
عمق Depth (cm)	یون مثبت Cations			یون منفی Anions			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺
	(mg.kg ⁻¹)			(meq.L ⁻¹)		(g.kg ⁻¹)	
0-30	2.16	31.24	7.18	0.39	0.023	1.37	0.11
30-60	1.24	41.84	4.65	0.42	0.041	1.08	0.09
عمق Depth (cm)	یون مثبت Cations			یون منفی Anions			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺
	(mg.kg ⁻¹)			(meq.L ⁻¹)		(g.kg ⁻¹)	
0-30	71.84	51.32	77.29	0.65	1.82	3.09	1.93
30-60	19.43	16.87	4.23	0.89	0.74	1.23	0.83

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی آب محل های آزمایش

Table 3- Chemical analysis of the water used in irrigation of evening primrose

منطقه تهران										
Tehran region										
pH	EC (dS.m ⁻¹)	SAR	یون مثبت Cations (meq.L ⁻¹)				یون منفی Anions (meq.L ⁻¹)			
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
7.12	0.27	0.72	1.24	0.54	0.93	0.18	1.28	3.65	0.34	0.13
منطقه ورامین										
Varamin region										
pH	EC (dS.m ⁻¹)	SAR	یون مثبت Cations (meq.L ⁻¹)				یون منفی Anions (meq.L ⁻¹)			
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
7.89	0.43	1.19	1.94	0.84	1.24	0.21	1.93	2.45	0.51	0.09

شیمیایی برای این گیاه، مقدار مصرف بعد از نتایج آزمایش خاک و با توجه به میزان مواد آلی خاک، میزان نیتروژن آلی، میزان نیتروژن قابل جذب و وزن مخصوص ظاهری خاک مورد محاسبه قرار گرفت. در مرحله اول با توجه به وزن مخصوص ظاهری خاک و مساحت کرت

کود سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در پایین بعد از آماده سازی زمین و کود اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سه مرحله هفت برگی، چهارده برگی و قبل از گل دهی در کرت های مورد نیاز طبق نقشه طرح مصرف شد. با توجه به مقدار توصیه شده مصرف کود

آزمایشی، وزن خاک در کرت آزمایشی محاسبه شد. در مرحله دوم با توجه به تناسب میزان مواد آلی خاک و وزن خاک در کرت آزمایشی، میزان مواد آلی موجود در خاک محاسبه شد. در مرحله سوم با توجه به میزان نیتروژن مواد آلی (حدود ۰/۰۵) و میزان نیتروژنی که سالانه قابل جذب می‌گردد (حدود ۰/۰۱) میزان نیتروژن قابل جذب آزاد شده توسط مواد آلی خاک محاسبه شد و در مرحله پایانی از مقدار کود توصیه شده برای هر تیمار به‌طور دقیق کم شد (Baghbani-Arani et al., 2017). تیمارهای تنش خشکی در مرحله گل‌دهی (هنگام گل‌دهی تا انتهای فصل) بر اساس ظرفیت زراعی خاک اعمال شد. برای اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی به‌ترتیب زیر اعمال شد: ابتدا ظرفیت زراعی مزرعه به‌دست آمد، به این صورت که یک کرت (طول دو متر×عرض دو متر) از هر مکان آزمایشی را کاملاً تا انتهای بلندی دیواره کرت از آب پر شده و روی آن با پلاستیک محصور شد (برای جلوگیری از تبخیر آب و ایجاد خطا) تا خاک کاملاً از آب اشباع گردد. بعد از ۴۸ ساعت و خروج آب ثقلی موجود در خلل و فرج درشت، پلاستیک از روی کرت برداشته شد. نمونه خاک تهیه شد و پس از توزین، در آن با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه را با ترازوی دقیق وزن و میزان رطوبت تبخیر شده (درصد رطوبت وزنی خاک) محاسبه شد. برای اجرای تنش کم‌آبی منحنی رطوبت خاک‌های مناطق مورد آزمایش در تهران و ورامین به‌صورت رابطه بین مکش آب خاک (مگاپاسگال) و میزان آب موجود در خاک رسم شد. برای انجام این کار از دستگاه صفحات فشاری برای فشارهای ۰/۱ تا ۵- بار و غشای تحت فشار برای فشارهای پنج تا ۱۵- بار، تولید شده توسط شرکت ابزار توسعه سهند استفاده شد. برای تعیین میزان آب مورد نیاز برای هر یک از تیمارهای تنش کم‌آبی، قبل از اجرای آزمایش، درصد رطوبت وزنی (θ_m) نمونه‌های خاکی دست‌نخورده از عمق توسعه ریشه ۶۰-۷۰ سانتی‌متر در حلقه‌های لاستیکی مخصوصی ریخته شد و پس از آن که با اضافه کردن آب مقطر به حالت اشباع درآمد، تحت مکش در فشارهای ۰/۳-، ۵-، ۱۰- و ۱۵- بار توسط صفحات فشاری به همراه غشای تحت فشار قرار گرفت و منحنی رطوبتی آن‌ها ترسیم شد. برای تعیین دقیق زمان آبیاری برای هر تیمار کم‌آبیاری در هر آزمایش، با گذشت ۴۸ ساعت از زمان آبیاری به‌صورت روزانه و متوالی توسط اگر از خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری انجام شد تا درصد رطوبت وزنی خاک مشخص شود. علاوه بر این روش برای

اطمینان از دقت نمونه‌برداری، با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج از نوع انعکاس‌سنج زمانی مدل E-127-6005CL2 ساخت شرکت Soil moisture Equipment Corp میزان درصد رطوبت وزنی خاک تعیین و پس از رسیدن درصد رطوبت وزنی خاک به میزان تعیین شده برای اعمال تیمار، از معادله ۱ حجم آب مصرفی مورد نیاز محاسبه شد (Baghbani-Arani et al., 2017).

$$V = (\theta_{FC} - \theta_m) \times BD \times A \times D / E_i \quad \text{معادله (۱)}$$

در این رابطه، V : حجم آب آبیاری مورد نیاز بر حسب مترمکعب، θ_{FC} : درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی خاک در مکش ۰/۳ بار یا معادل ۰/۰۳ مگاپاسگال، θ_m : درصد رطوبت وزنی خاک (کسر وزن خاک مرطوب بر حسب گرم از وزن خاک خشک بر حسب گرم تقسیم بر وزن خاک مرطوب بر حسب گرم) قبل از آبیاری، BD : وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، A : مساحت کرت آزمایشی بر حسب متر (طول دو متر×عرض دو متر)، D : عمق توسعه ریشه بر حسب متر (۰/۶ متر) و E_i : راندمان آبیاری بر حسب درصد با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید (E_i : راندمان آبیاری برای یک مترمربع زمین، V_n : حجم خالص آبیاری بر حسب مترمکعب برای یک مترمربع زمین، Q : دبی ورودی آب بر حسب مترمکعب در دقیقه و T_{co} : زمان قطع آبیاری بر حسب دقیقه).

$$E_i = V_n / Q \times T_{co} \quad \text{معادله (۲)}$$

کالیبره کردن دستگاه انعکاس‌سنج زمانی بدین ترتیب انجام شد که قبل از کار با دستگاه انعکاس‌سنج زمانی، مزرعه آبیاری گردید. بعد از خروج آب اضافی، هر ۴۸ ساعت یک‌بار به مدت دو هفته از خاک مزرعه نمونه‌برداری صورت گرفت و هم‌زمان با آن عدد انعکاس‌سنج زمانی نیز قرائت شد. نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری رطوبت حجمی به آزمایشگاه منتقل شد و رطوبت حجمی آن به‌دست آمد، به این ترتیب که پس از توزین نمونه دست‌نخورده از خاک مزرعه، وزن تر خاک مشخص شد، نمونه خاک را در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و سپس وزن خشک خاک جهت تعیین درصد رطوبت وزنی و حجمی یادداشت شد. سپس بر اساس داده‌های حاصل از رطوبت حجمی خاک و اعداد قرائت شده انعکاس‌سنج زمانی، منحنی رطوبت خاک رسم گردید. پس از محاسبه، مقدار آب لازم برای هر کرت بر اساس میزان تخلیه رطوبت خاک، با استفاده از پمپ و لوله‌هایی از جنس پلی‌اتیلن آبیاری گردید و دبی آب عبوری توسط کنتور برای هر کرت اندازه‌گیری شد. هم‌چنین برای

$$\text{معادله (۳)} \quad \text{RWC (\%)} = [(FW - DW) \div (TW - DW)] \times 100$$

در این معادله، RWC: محتوای نسبی آب برگ، FW: وزن تر برگ، DW: وزن خشک برگ و TW: وزن اشباع برگ است. اندازه‌گیری میزان کاتالاز بر اساس میزان تجزیه آب اکسیژنه انجام می‌گیرد. بدین منظور محلول واکنش شامل ۱۰۰ میلی‌مول بافر فسفات پتاسیم و ۱۵ میلی‌مول آب اکسیژنه می‌باشد که پس از اضافه کردن عصاره نمونه بافت، تغییر جذب در اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر به‌طور دقیق ارزیابی می‌گردد. در این بررسی به‌منظور تعیین کارایی مصرف آب واقعی ابتدا با استفاده از کنتور میزان آب وارد شده به کرت تعیین شد. مقدار کارایی مصرف آب در پایان دوره رشد از طریق مقدار عملکرد دانه به‌دست آمده به آب مصرف شده محاسبه شد. واحد محاسبه بر حسب مقدار عملکرد دانه تولید شده بر حسب گرم به ازای هر لیتر آب مصرفی محاسبه شد. داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌ها برای سهولت در محاسبات ریاضی در صفحات برنامه صفحه‌گستر Excel ثبت شد و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها مطابق روش تجزیه واریانس (ANOVA) از برنامه آماری SAS استفاده شد و مقایسه میانگین‌های اثرات ساده و متقابل صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد. تجزیه و تحلیل برخی از صفات به‌صورت جداگانه بر اساس آزمون بارتلت برای مکان‌های تهران و ورامین انجام شد (جدول ۵).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار اثرات ساده رژیم آبیاری، کود شیمیایی، میکوریزا، آزوسپیریوم و مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×کود شیمیایی، رژیم آبیاری×میکوریزا، کود شیمیایی×میکوریزا، میکوریزا×مکان اجرای طرح، آزوسپیریوم×مکان اجرای طرح، کود شیمیایی×میکوریزا×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×میکوریزا×آزوسپیریوم×مکان اجرای طرح، رژیم کود شیمیایی×میکوریزا×آزوسپیریوم×مکان اجرای طرح و رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×آزوسپیریوم×مکان اجرای طرح در میزان وزن خشک ریشه (جدول ۴)؛ بین رژیم آبیاری، کود شیمیایی، میکوریزا، آزوسپیریوم، مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×کود شیمیایی، رژیم آبیاری×میکوریزا، رژیم آبیاری×آزوسپیریوم، کود شیمیایی×میکوریزا، کود شیمیایی×مکان

جلوگیری از تأثیر بارندگی بر تیمارهای کم‌آبیاری، روی کرت‌ها توسط حفاظ‌هایی از جنس پلاستیک شفاف (قبل از شروع بارندگی و بر اساس پیش‌بینی هواشناسی) که قابلیت عبور نور را داشته باشند، پوشانده شد و بدین ترتیب، آب باران بدون رسیدن به گیاهان و کرت‌های آزمایشی به بیرون از محل آزمایش هدایت شد. پس از آماده‌سازی کیسه‌های نشاء، بذره‌های گل مغربی همراه با اعمال تیمارها در آن قرار داده شد و در طول مدت رشد نشاء گل مغربی، عملیات تهیه بستر زمین اصلی به مساحت ۱۵۰۰ مترمربع شامل شخم، تسطیح، مرزبندی و ماله‌کشی انجام شد. ابعاد هر کرت آزمایشی چهار مترمربع (طول دو متر×عرض دو متر)، فاصله بین کرت‌ها یک متر (برای جلوگیری از عمل تداخل و آلودگی قارچ‌ها و باکتری‌ها یک متر به‌صورت نکاشت به‌عنوان محافظ بین کرت‌ها قرار گرفت)، فاصله بین فاکتورهای اصلی دو متر (برای جلوگیری از نفوذ آب در تنش کم‌آبی بین کرت‌های اصلی) در نظر گرفته شد. پس از گذشت چهار ماه و نگهداری در گلخانه، به زمین اصلی منتقل و گیاه با تراکم مطلوب یعنی ۲۰ بوته در مترمربع (فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر) کشت شد. با در نظر گرفتن اثر حاشیه در مرحله برداشت ده گیاه به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شده و ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای اندازه‌گیری عملکرد ماده خشک اندام هوایی پس از اینکه گیاهان از سطح خاک کف‌بر شدند در داخل پلاستیک‌هایی قرار گرفتند و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از توزین عملکرد ماده تر، نمونه‌ها در سایه و هوای آزاد خشک شده و عملکرد ماده خشک گیاه نیز مورد محاسبه قرار گرفت. هم‌چنین ریشه‌های گل مغربی در داخل تشت پر از آب با دقت از خاک خارج شده و بعد از شستشو با آب مقطر، وزن تر آن محاسبه شد؛ سپس نمونه‌ها در داخل دستگاه آون به‌مدت ۷۲ ساعت با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه‌ها از آون خارج و جهت اندازه‌گیری وزن خشک ریشه توزین شد. در پایان دوره رشد هم‌زمان با رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن برگ‌ها و کپسول‌ها) از هر کرت ۲۰ بوته با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای به‌طور تصادفی انتخاب شده و شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد نهایی پس از حذف اثر حاشیه‌ای، کل بوته‌های هر کرت کف‌بر شده و پس از کوبیدن، دانه‌ها جدا و بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری محتوای رطوبت نسبی برگ از معادله ۳ استفاده شد.

آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×مکان اجرای طرح، کود شیمیایی×میکوریزا×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×مکان اجرای طرح و رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×مکان اجرای طرح در میزان شاخص سطح برگ (جدول ۴)؛ بین رژیم آبیاری، کود شیمیایی، میکوریزا، *آزوسپیریوم*، مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×کود شیمیایی، رژیم آبیاری×میکوریزا، رژیم آبیاری×کود شیمیایی، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×*آزوسپیریوم*، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×میکوریزا×*آزوسپیریوم*×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×مکان اجرای طرح و رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*×مکان اجرای طرح در میزان کاتالاز (جدول ۴) و بین رژیم آبیاری، کود شیمیایی، میکوریزا، *آزوسپیریوم*، مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×کود شیمیایی، رژیم آبیاری×میکوریزا، کود شیمیایی×مکان اجرای طرح، کود شیمیایی×میکوریزا، کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*، کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*، کود شیمیایی×مکان اجرای طرح، کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×میکوریزا×*آزوسپیریوم*، رژیم آبیاری×میکوریزا×*آزوسپیریوم*×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*×مکان اجرای طرح، رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*×مکان اجرای طرح و رژیم آبیاری×کود شیمیایی×میکوریزا×*آزوسپیریوم*×مکان اجرای طرح در میزان عملکرد دانه بود (جدول ۴). هم‌چنین بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس رژیم آبیاری، کود شیمیایی، میکوریزا، *آزوسپیریوم*، رژیم آبیاری×کود شیمیایی و رژیم آبیاری×میکوریزا ارتفاع بوته در مناطق تهران و ورامین (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن خشک ریشه، اندام هوایی و نسبت آن‌ها، شاخص سطح برگ، کاتالاز و عملکرد دانه گیاه گل مغربی در تیمارهای رژیم آبیاری (IR)، کود شیمیایی (CF)، میکوریزا (M)، آزوسپیریوم (Az) و مکان اجرای طرح (F)

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for the main and interaction effects of field locations "Tehran and Varamin regions" (F), irrigation regime (IR), chemical fertilizers (CF) and biological fertilizers (mycorrhizal fungi "M" and *Azospirillum* "Az") on root dry weight (RDW), shoot dry weight (SDW), root ratio shoot dry weight (R/S DW), leaf area index (LAI), catalase (CAT) and seed yield (SY) in evening primrose

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک ریشه RDW	وزن خشک اندام هوایی SDW	نسبت وزن خشک ریشه به ساقه R/S DW	شاخص سطح برگ LAI	کاتالاز CAT	عملکرد دانه SY
Source of variation	df						
میانگین مربعات Mean of squares							
مکان F	1	96168**	141682**	0.00093**	0.2953**	159.90**	6178170**
خطا Error	3	15	44	0.00001	0.0010	0.22	2442
رژیم آبیاری IR	2	105865**	2474603**	0.04265**	0.4519**	143.88**	98142991**
IR×F	2	53450**	66490**	0.0012**	0.2054**	109.75**	4060930**
خطای اصلی Main error	8	6134	7544	0.00008	0.0231	12.62	445454
کود شیمیایی CF	2	51681**	45156**	0.00321**	0.0266**	8.41**	8714691**
میکوریزا M	1	226925**	549638**	0.00442**	0.1796**	7.25**	37288283**
آزوسپیریوم Az	1	20901**	127621**	0.00556**	0.0547**	7.83**	10237116**
IR×CF	4	1466**	95114**	0.00578**	0.0623**	2.91**	10044186**
IR×M	2	2385**	27385**	0.00295**	0.0110**	4.09**	8024494**
IR×Az	2	55 ^{ns}	11072**	0.00001 ^{ns}	0.0104**	3.94**	2170645**
CF×M	2	4853**	10090**	0.00411**	0.0111**	0.07 ^{ns}	2023483**
CF×Az	2	524 ^{ns}	313 ^{ns}	0.00006 ^{ns}	0.0103**	0.53 ^{ns}	161745 ^{ns}
CF×F	2	213 ^{ns}	13245**	0.00017 ^{ns}	0.0114**	0.08 ^{ns}	2145453**
M×Az	1	542 ^{ns}	52267**	0.00052 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.07 ^{ns}	3064593**
M×F	1	1378**	16899**	0.00431**	0.0147**	0.06 ^{ns}	2913588**
Az×F	1	1553**	84 ^{ns}	0.00011 ^{ns}	0.0150**	0.16 ^{ns}	3227183**
IR×CF×M	4	312 ^{ns}	5540**	0.00021 ^{ns}	0.0089**	3.24**	1684566**
IR×CF×Az	4	509 ^{ns}	4737**	0.00004 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	3.19**	1610155**
IR×CF×F	4	239 ^{ns}	18181**	0.00056 ^{ns}	0.0085**	2.82**	1628983**
CF×M×Az	2	473 ^{ns}	6626**	0.00001 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.01 ^{ns}	54269 ^{ns}
CF×M×F	2	1023**	5644**	0.00321**	0.0123**	0.13 ^{ns}	104959 ^{ns}
M×Az×F	1	1523**	8397**	0.00441**	0.0003 ^{ns}	0.11 ^{ns}	3166767**
IR×M×Az	2	505 ^{ns}	13449**	0.00315**	0.0004 ^{ns}	0.02 ^{ns}	2277824**
IR×M×F	2	157 ^{ns}	6269**	0.00311**	0.0114**	4.46**	2201664**
IR×Az×F	2	225 ^{ns}	5850**	0.00304**	0.0004 ^{ns}	4.11**	5857 ^{ns}
CF×Az×F	2	444 ^{ns}	5667**	0.00001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.98 ^{ns}	172716 ^{ns}
IR×CF×M×Az	4	237 ^{ns}	4837**	0.00225**	0.0003 ^{ns}	3.21**	1712934**
IR×CF×M×F	4	129 ^{ns}	5140**	0.00231**	0.0098**	3.09**	1907833**
IR×CF×Az×F	4	47 ^{ns}	4144**	0.00225**	0.0085**	2.78**	1765922**
IR×M×Az×F	2	1023**	5781**	0.00307**	0.0008 ^{ns}	0.11 ^{ns}	2111414**
CF×M×Az×F	2	1123**	5807**	0.00331**	0.0002 ^{ns}	0.07 ^{ns}	37678 ^{ns}
IR×CF×M×Az×F	4	765**	4274**	0.00245**	0.0003 ^{ns}	0.08 ^{ns}	4380111**
خطای فرعی Sub error	132	212	1183	0.00061	0.0021	0.77	424049
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	18	23	28.32124	27	27	25

^{ns}: غیرمعنی دار، * و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}: Not significant.

*: Significant at the 0.05 probability level.

**: Significant at the 0.01 probability level.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب و کارایی مصرف آب در تیمارهای رژیم آبیاری (IR)، کود شیمیایی (CF)، میکوریزا (M) و آزوسپیریلام (Az) در مناطق تهران و ورامین

Table 5- Analysis of variance for the main and interaction effects of irrigation regime (IR), chemical fertilizers (CF) and biological fertilizers (mycorrhizal fungi and *Azospirillum* "M and Az") in Tehran and Varamin regions on plant height (PH), relative water content (RWC) and water use efficiency (WUE) in evening primrose

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته PH	محتوای نسبی آب RWC	کارایی مصرف آب WUE
میانگین مربعات Mean of squares				
منطقه تهران Tehran region (T)				
بلوک Block	2	860 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.1961 ^{ns}
رژیم آبیاری IR	2	73703 ^{**}	393.8830 ^{**}	2.3319 ^{**}
خطای اصلی Main error	4	500	0.0091	0.0312
کود شیمیایی CF	2	1396 ^{**}	3.0698 ^{**}	0.1395 ^{**}
میکوریزا M	1	3605 ^{**}	1.9561 ^{**}	0.0948 ^{**}
آزوسپیریلام Az	1	924 ^{**}	0.8326 ^{**}	0.1577 ^{**}
IR×CF	4	1537 ^{**}	0.2174 ^{**}	0.0756 ^{**}
IR×M	2	573 ^{**}	0.0453 ^{**}	0.1509 ^{**}
IR×Az	2	100 ^{ns}	0.0354 ^{**}	0.0109 ^{ns}
CF×M	2	162 ^{ns}	0.0191 ^{ns}	0.0109 ^{ns}
CF×Az	2	28 ^{ns}	0.0168 ^{ns}	0.0044 ^{ns}
M×Az	1	67 ^{ns}	0.0125 ^{ns}	0.0072 ^{ns}
IR×CF×M	4	119 ^{ns}	0.0284 ^{**}	0.0072 ^{ns}
IR×CF×Az	4	111 ^{ns}	0.0236 ^{**}	0.0077 ^{ns}
CF×M×Az	2	56 ^{ns}	0.0673 ^{**}	0.0059 ^{ns}
IR×M×Az	2	51 ^{ns}	0.0323 ^{**}	0.0086 ^{ns}
IR×CF×M×Az	4	141 ^{ns}	0.0226 ^{**}	0.0682 ^{**}
خطای فرعی Sub error	66	95	0.0062	0.0052
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	27	15	21.1012
منطقه ورامین Varamin region (V)				
بلوک Block	2	273 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.0343 ^{ns}
رژیم آبیاری IR	2	70518 ^{**}	398.9475 ^{**}	0.7935 ^{**}
خطای اصلی Main error	4	398	0.0078	0.0422
کود شیمیایی CF	2	1914 ^{**}	2.8924 ^{**}	0.1346 ^{**}
میکوریزا M	1	2914 ^{**}	2.4852 ^{**}	0.0904 ^{**}
آزوسپیریلام Az	1	872 ^{**}	0.6729 ^{**}	0.0957 ^{**}
IR×CF	4	2857 ^{**}	0.0189 ^{**}	0.0634 ^{**}
IR×M	2	567 ^{**}	0.0232 ^{**}	0.1276 ^{**}
IR×Az	2	95 ^{ns}	0.0251 ^{**}	0.0132 ^{ns}
CF×M	2	71 ^{ns}	0.1534 ^{**}	0.0122 ^{ns}
CF×Az	2	65 ^{ns}	0.0305 ^{**}	0.0143 ^{ns}
M×Az	1	19 ^{ns}	0.0544 ^{**}	0.0132 ^{ns}
IR×CF×M	4	108 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.0151 ^{ns}
IR×CF×Az	4	131 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.0183 ^{ns}
CF×M×Az	2	113 ^{ns}	0.0314 ^{**}	0.0187 ^{ns}
IR×M×Az	2	234 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.0137 ^{ns}
IR×CF×M×Az	4	128 ^{ns}	0.0315 ^{**}	0.0775 ^{**}
خطای فرعی Sub error	66	99	0.0046	0.0089
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	19	13	19.1825

^{ns}: Not significant.

*: Significant at the 0.05 probability level.

**: Significant at the 0.01 probability level.

^{ns}: غیرمعنی دار

*: معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد

**: معنی دار در سطوح احتمال یک درصد

رژیم آبیاری، کود شیمیایی، میکوریزا، *آزوسپیریوم*، رژیم آبیاری × کود شیمیایی، رژیم آبیاری × میکوریزا و رژیم آبیاری × کود شیمیایی × میکوریزا / *آزوسپیریوم* کارایی مصرف آب در مناطق تهران و ورامین (جدول ۵)؛ رژیم آبیاری، کود شیمیایی، میکوریزا، *آزوسپیریوم*، رژیم آبیاری × کود شیمیایی، رژیم آبیاری × میکوریزا، رژیم آبیاری × *آزوسپیریوم*، کود شیمیایی × میکوریزا / *آزوسپیریوم* و رژیم آبیاری × کود شیمیایی × میکوریزا / *آزوسپیریوم* محتوای نسبی آب در مناطق تهران و ورامین (جدول ۵)؛ رژیم آبیاری × کود شیمیایی × میکوریزا، رژیم آبیاری × کود شیمیایی × *آزوسپیریوم* و رژیم آبیاری × میکوریزا / *آزوسپیریوم* محتوای نسبی آب در منطقه تهران (جدول ۵) و کود شیمیایی × میکوریزا، کود شیمیایی × *آزوسپیریوم* و میکوریزا / *آزوسپیریوم* در منطقه ورامین (جدول ۵) را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند.

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین در مناطق تهران و ورامین تنش خشکی، کاربرد کودهای شیمیایی و بیولوژیکی سبب افزایش وزن خشک ریشه شد (جدول ۶). با توجه به جدول ۶، بالاترین میزان وزن خشک ریشه (۴۱۴۲ گرم در مترمربع) مربوط به آبیاری در هنگام ۳۰ درصد از ظرفیت زراعی یا تنش شدید، کاربرد ۱۰۰ درصدی از کود شیمیایی، کاربرد میکوریزا و *آزوسپیریوم* به‌دست آمد. در هر دو منطقه تهران و ورامین، تنش خشکی سبب کاهش میزان وزن خشک اندام هوایی (جدول ۶) و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی (شکل ۲) شد؛ در حالی که کاربرد کودهای شیمیایی و بیولوژیکی سبب جبران کاهش وزن خشک اندام هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی تحت تنش خشکی شد (جدول ۶). با توجه به جدول ۶، تحت تنش خشکی در تمامی تیمارها استفاده از کود شیمیایی و بیولوژیکی سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی شد. نتایج به‌دست آمده با نتایج دیگر پژوهشگران مطابقت دارد (Pirzad et al., 2011; Liu et al., 2015; Zegaoui et al., 2017; Mouradi et al., 2016; Abdalla et al., 2007; Chu et al., 2014). گزارش شده است که تنش خشکی به‌دلیل کاهش توسعه سلولی و کاهش جذب آب و مواد غذایی باعث کاهش رشد و کاهش وزن خشک اندام هوایی می‌گردد (Liu et al., 2015; Zegaoui et al., 2017; Mouradi et al., 2016). هم‌چنین در تنش خشکی به‌دلیل دستیابی ریشه گیاه به آب خاک، رشد ریشه افزایش می‌یابد (Chu et al., 2014; Liu et al., 2015).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد تحت ایجاد تنش خشکی عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد و کاربرد کودهای شیمیایی، میکوریزا و *آزوسپیریوم* سبب افزایش میزان عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ تحت تنش خشکی شد (جدول ۶). بالاترین میزان عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ در شرایط آبیاری در زمان ۵۰ درصد از ظرفیت زراعی، کاربرد ۱۰۰ درصدی کود شیمیایی، تلقیح میکوریزا و *آزوسپیریوم* به‌ترتیب برابر با ۵۵۵۲ کیلوگرم در هکتار و ۹۵/۰۸ درصد در منطقه ورامین بود (جدول ۶). هم‌چنین رابطه بین میزان عملکرد دانه در هکتار با رژیم آبیاری در بین کاربرد کودهای شیمیایی مورد بررسی در این آزمایش بر اساس نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی نشان داد استفاده ۱۰۰ درصدی از کود شیمیایی در سطح یک درصد با بالاترین میزان شیب خط $y = 111.5x - 1028$ در منطقه ورامین و $y = 110.4x - 1028$ دارای بالاترین میزان رابطه خطی نسبت به افزایش آب خاک (ظرفیت زراعی) و افزایش عملکرد دانه در مناطق تهران و ورامین بوده است (شکل ۳). گزارش‌های متعددی نشان از کاهش عملکرد دانه و محتوای نسبی آب تحت تنش خشکی در گیاهان مختلف دارند (Pirzad et al., 2011; Liu et al., 2015; Zegaoui et al., 2017). از دلایل کاهش عملکرد دانه تحت تنش خشکی می‌توان به کاهش میزان فتوسنتز، کاهش جذب دی‌اکسیدکربن، افزایش تعرق، کاهش جذب آب، افزایش دمای برگ به‌دلیل کاهش تعرق و کاهش جذب مواد غذایی اشاره نمود (Mouradi et al., 2016; Abdalla et al., 2007; Ahmed et al., 2009). گزارش‌های دیگر نیز نشان از کاهش محتوای نسبی آب برگ به‌دلیل کاهش جذب آب توسط ریشه گیاه تحت تنش خشکی داشته‌اند (Pirzad et al., 2011; Zegaoui et al., 2017). نتایج دیگر محققان نشان داده است که کاربرد کودهای بیولوژیک مانند میکوریزا سبب افزایش میزان جذب آب و مواد غذایی از خاک به‌دلیل افزایش تراکم ریشه در خاک و تولید هیف‌های قارچی می‌باشد که نقش مهمی در افزایش میزان عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ دارد (Asrar & Elhindi, 2011).

جدول ۶- مقایسه میانگین وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، عملکرد بذر، محتوای نسبی آب و کارایی مصرف آب گل مغربی در برهم کنش رژیم آبیاری (IR)×کود شیمیایی (CF)×میکوریزا (M)×آزوسپیریوم (Az)×مکان طرح (F)

Table 6- Irrigation regime (IR)×chemical fertilizers (CF)×mycorrhizal (M)×*Azospirillum* (Az)×field locations “Tehran and Varamin region” (F) interaction on root dry weight (RDW), shoot dry weight (SDW), root ratio shoot dry weight (R/S DW), seed yield (SY), relative water content (RWC) and water use efficiency (WUE) in evening primrose

		وزن خشک ریشه		وزن خشک اندام هوایی		نسبت وزن خشک ریشه به ساقه		عملکرد بذر		محتوای نسبی آب		کارایی مصرف آب			
		RDW (g.m ⁻²)		SDW		R/S DW		SY (kg.ha ⁻¹)		RWC (%)		WUE (g.grain.L ⁻¹)			
مکان اجرای طرح (T: تهران و V: ورامین)															
F (T: Tehran and V: Varamin regions)															
		تهران T		ورامین V		تهران T		ورامین V		تهران T		ورامین V			
		T		V		T		V		T		V			
IR 30% FC	CF0	-M	-Az	2370 ^{hi*}	2725 ^{fg}	3539 ^u	3836 st	0.66 ^k	0.71 ^{gh}	1920 ^z	2128 ^{x-z}	52.32 ^z	61.54 ^z	0.64 ^z	0.71 ^{x-z}
			+Az	2725 ^{fg}	3092 ^e	3908 ^s	4036 ^r	0.69 ^{ij}	0.76 ^{bc}	2068 ^{x-z}	2298 ^{s-z}	64.92 ^v	69.73 ^x	0.69 ^{x-z}	0.77 ^{s-z}
		+M	-Az	2895 ^f	3240 ^d	4094 ^r	4304 ^p	0.70 ^{hi}	0.75 ^{cd}	2033 ^{x-z}	2274 ^{t-z}	60.92 ^z	65.76 ^z	0.68 ^{x-z}	0.76 ^{t-z}
			+Az	3190 ^{de}	3595 ^{bc}	4472 ^{op}	4783 ^m	0.71 ^{gh}	0.75 ^{cd}	2227 ^{v-z}	2745 ^{n-z}	65.03 ^{uv}	69.86 ^{wx}	0.74 ^{v-z}	0.92 ^{n-z}
	CF	-M	-Az	2565 ^{gh}	2910 ^{ef}	3756 ^t	3891 ^s	0.68 ^j	0.74 ^{de}	1962 ^{yz}	2174 ^{w-z}	61.08 ^{yz}	65.88 ^z	0.65 ^{yz}	0.72 ^{w-z}
			+Az	2830 ^f	3167 ^{de}	4005 ^r	4220 ^q	0.70 ^{hi}	0.75 ^{cd}	2225 ^{v-z}	2358 ^{s-z}	65.16 ^{tu}	69.97 ^{vw}	0.74 ^{v-z}	0.79 ^{s-z}
		+M	-Az	3097 ^e	3442 ^c	4503 ^o	4608 ^{mn}	0.68 ^j	0.74 ^{de}	2151 ^{w-z}	2355 ^{s-z}	61.21 ^{xy}	66.02 ^z	0.72 ^{w-z}	0.79 ^{s-z}
			+Az	3392 ^{cd}	4082 ^b	4904 ^{kl}	5102 ^k	0.69 ^{ij}	0.77 ^b	2338 ^{s-z}	2934 ^{k-z}	65.34 st	70.16 ^{vu}	0.78 ^{s-z}	0.98 ^{k-z}
	CF	-M	-Az	2662 ^g	3090 ^e	3823 st	4106 ^{qr}	0.69 ^{ij}	0.75 ^{cd}	2021 ^{x-z}	2235 ^{v-z}	61.36 ^{wx}	66.23 ^y	0.67 ^{x-z}	0.75 ^{v-z}
			+Az	2927 ^{ef}	3340 ^{cd}	4014 ^r	4330 ^p	0.72 ^{fg}	0.77 ^b	2258 ^{u-z}	2457 ^{q-z}	65.47 ^{rs}	70.35 ^{tu}	0.75 ^{u-z}	0.82 ^{q-z}
		+M	-Az	3135 ^{de}	3495 ^c	4281 ^q	4724 ^m	0.73 ^{ef}	0.73 ^{ef}	2228 ^{v-z}	2506 ^{q-z}	61.52 ^w	66.37 ^y	0.74 ^{v-z}	0.84 ^{q-z}
			+Az	3535 ^{bc}	4142 ^a	4751 ^m	5337 ^j	0.74 ^{de}	0.79 ^a	2495 ^{q-z}	3267 ^{h-x}	65.61 ^r	70.45 ^t	0.83 ^{q-z}	1.09 ^{h-x}
IR 40% FC	CF0	-M	-Az	2250 ⁱ	2407 ^h	4297 ^q	4574 ^o	0.52 ^{rs}	0.52 ^{rs}	2382 ^{t-z}	2490 ^{q-z}	78.26 ^q	78.12 ^s	0.9 ^{n-z}	0.97 ^{t-z}
			+Az	2492 ^h	2680 ^g	4470 ^{op}	4764 ^m	0.55 ^{op}	0.56 ^{no}	2690 ^{n-z}	2862 ^{m-z}	82.41 ^m	82.23 ⁿ	1.06 ^{t-y}	1.23 ^{e-q}
		+M	-Az	2640 ^g	2812 ^f	4802 ⁱ	5392 ^j	0.54 ^{pq}	0.52 ^{rs}	2797 ^{n-z}	2957 ^{k-z}	78.41 ^{pq}	78.28 ^{rs}	1.15 ^{g-v}	1.4 ^{c-k}
			+Az	2965 ^{ef}	3062 ^e	5632 ⁱ	6019 ^{gh}	0.52 ^{rs}	0.50 ^{tu}	3636 ^{e-r}	3919 ^{e-n}	82.53 ^m	82.36 ^{mn}	1.27 ^{e-o}	1.82 ^{ab}
	CF	-M	-Az	2362 ^{hi}	2460 ^h	4429 ^{op}	4976 ^{kl}	0.53 ^{qr}	0.49 ^{vu}	2518 ^{p-z}	2631 ^{o-z}	78.57 ^{op}	78.39 ^{qr}	1.05 ^{t-z}	1.18 ^{f-s}
			+Az	2642 ^g	2740 ^{fg}	4617 ^{mn}	5148 ^k	0.57 ⁿ	0.53 ^{qr}	2802 ^{n-z}	2872 ^{m-z}	82.59 ^{lm}	82.46 ^{lm}	1.16 ^{f-v}	1.31 ^{e-n}
		+M	-Az	2405 ^h	2610 ^g	4979 ^{kl}	6197 ^g	0.48 ^v	0.42 ^x	3092 ^{j-z}	3396 ^{g-w}	78.65 ^o	78.51 ^{pq}	1.27 ^{e-o}	1.61 ^{a-e}
			+Az	2770 ^{fg}	2905 ^{ef}	5725 ^{hi}	6893 ^{de}	0.48 ^v	0.42 ^x	4186 ^{c-k}	4394 ^{a-i}	82.75 ^{kl}	82.61 ^{kl}	1.42 ^{b-j}	1.77 ^{a-d}
	CF	-M	-Az	2835 ^f	2925 ^{ef}	4619 ^{mn}	5744 ^{hi}	0.61 ^l	0.50 ^{tu}	2703 ^{n-z}	2719 ^{n-z}	78.88 ⁿ	78.68 ^{op}	1.17 ^{f-t}	1.38 ^{d-l}
			+Az	3092 ^e	3475 ^c	4803 ⁱ	5842 ^h	0.61 ^l	0.59 ^m	2990 ^{k-z}	3210 ^{h-y}	82.89 ^{jk}	82.79 ^{jk}	1.37 ^{d-m}	1.48 ^{a-h}
		+M	-Az	2722 ^{fg}	2985 ^{ef}	5320 ^j	6910 ^d	0.51 st	0.43 ^x	3514 ^{f-^{tu}}	3768 ^{e-p}	79.01 ⁿ	78.79 ^o	1.57 ^{a-f}	1.75 ^{a-d}
			+Az	3297 ^d	3535 ^{bc}	6429 ^{ef}	7722 ^{bc}	0.51 st	0.45 ^w	4609 ^{a-g}	5394 ^{a-c}	83.02 ^j	82.86 ^j	1.83 ^a	1.85 ^a
IR 50% FC	CF0	-M	-Az	1680 ^m	1935 ^k	5849 ^h	6317 ^f	0.28 ^z	0.30 ^z	2705 ^{n-z}	2905 ^{t-z}	85.45 ⁱ	90.36 ⁱ	0.79 ^{r-z}	0.83 ^{q-z}
			+Az	2012 ^j	2275 ⁱ	6091 ^{gh}	6498 ^{ef}	0.33 ^z	0.35 ^y	3189 ^{-y}	3701 ^{e-q}	89.61 ^d	94.47 ^e	0.9 ^{n-z}	0.95 ^{m-z}
		+M	-Az	1930 ^k	2310 ^{hi}	6493 ^{ef}	7036 ^{cd}	0.30 ^z	0.32 ^z	3441 ^{g-v}	4187 ^{c-k}	85.63 ^{hi}	90.53 ^{hi}	0.93 ^{n-z}	0.99 ^{k-z}
			+Az	2275 ⁱ	2575 ^{gh}	7553 ^{bc}	7802 ^{bc}	0.30 ^z	0.33 ^z	3813 ^{e-o}	5448 ^{ab}	89.76 ^{cd}	94.59 ^{de}	1.21 ^{e-r}	1.31 ^{e-n}
	CF	-M	-Az	1792 ^l	1995 ^k	6038 ^{gh}	6352 ^f	0.29 ^z	0.31 ^z	3155 ^{-z}	3550 ^{f-s}	85.78 ^{gh}	90.62 ^h	0.84 ^{p-z}	0.88 ^{o-z}
			+Az	2040 ^j	2295 ⁱ	6172 ^g	6712 ^{de}	0.33 ^z	0.34 ^{yz}	3480 ^{f-v}	3944 ^{e-n}	89.82 ^{cd}	94.71 ^{cd}	0.93 ^{n-z}	0.96 ^{m-z}
		+M	-Az	2160 ^{ij}	2460 ^h	6773 ^{de}	7117 ^c	0.31 ^z	0.34 ^{yz}	3811 ^{e-o}	4819 ^{a-e}	85.88 ^{fg}	90.72 ^{gh}	1.03 ^{j-z}	1.13 ^{g-w}
			+Az	2527 ^{gh}	2947 ^{ef}	8034 ^b	8485 ^{ab}	0.31 ^z	0.34 ^{yz}	4273 ^{b-j}	5303 ^{a-d}	89.95 ^{bc}	94.85 ^{bc}	1.4 ^{c-k}	1.46 ^{a-i}
	CF	-M	-Az	1935 ^k	2160 ^{ij}	6287 ^{fg}	6816 ^{de}	0.30 ^z	0.31 ^z	3519 ^{f-t}	4133 ^{d-l}	86.07 ^{ef}	90.91 ^{fg}	0.9 ^{n-z}	0.91 ^{n-z}
			+Az	2220 ⁱ	2445 ^h	6370 ^f	7039 ^{cd}	0.34 ^{yz}	0.34 ^{yz}	4111 ^{d-m}	4452 ^{a-h}	90.11 ^{ab}	94.99 ^{ab}	1 ^{k-z}	1.07 ^{h-y}
		+M	-Az	2302 ^{hi}	2655 ^g	6691 ^e	7687 ^{bc}	0.34 ^{yz}	0.34 ^{yz}	4703 ^{a-f}	5255 ^{a-d}	86.18 ^e	91.01 ^f	1.17 ^{f-u}	1.26 ^{e-p}
			+Az	2840 ^f	3037 ^e	8235 ^{ab}	8922 ^a	0.34 ^{yz}	0.34 ^{yz}	5501 ^{ab}	5552 ^a	90.21 ^a	95.08 ^a	1.54 ^{a-g}	1.8 ^{a-c}

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارد.

* Means in each column followed by similar letter are not significant different at 5 % probability level using the LSD test.

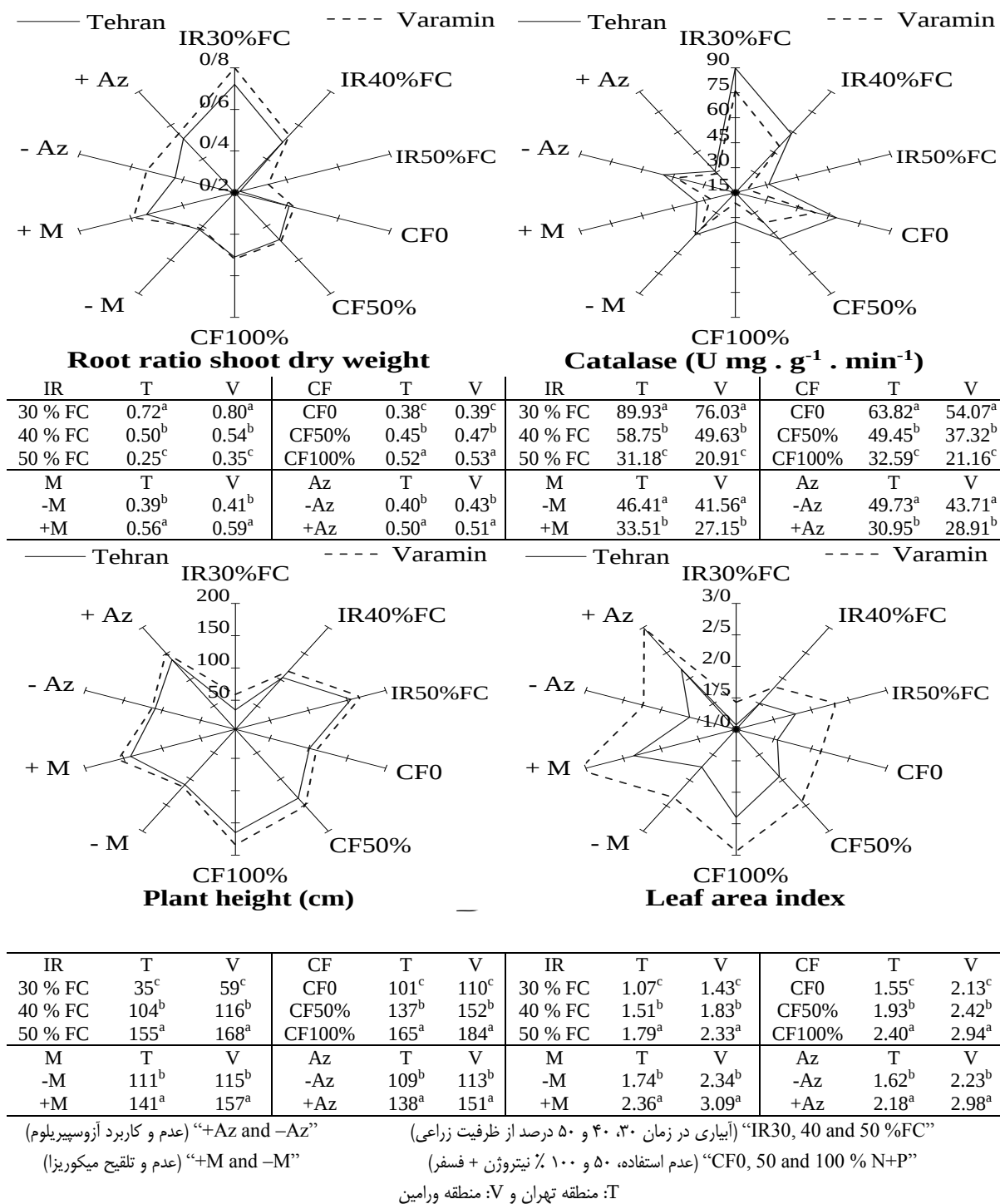
“IR30, 40 and 50 %FC” (آبیاری در زمان ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد از ظرفیت زراعی)

“+Az and -Az” (عدم و کاربرد آزوسپیریوم)

“+M and -M” (عدم و تلقیح میکوریزا)

“CF0, 50 and 100 % N+P” (عدم استفاده، ۵۰ و ۱۰۰٪ نیتروژن + فسفر)

IR: irrigation regime (IR30%FC: 30 percent of field capacity, IR40%FC: 40 percent of field capacity and IR50%FC: 50 percent of field capacity); CF: chemical fertilizers (CF0: no-application, CF50%: 50 percent of N+P and CF100%: 100 percent of N+P); *Azospirillum* and mycorrhizal (inoculated “+Az and +M” and non-inoculated “-Az and -M”)



شکل ۲- مقایسه میانگین نسبت وزن خشک ریشه به ساقه، کاتالاز، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری (IR)، کود شیمیایی (CF)، میکوریزا (M) و آزوسپیریوم (Az) در مناطق تهران و ورامین

Fig. 2- Effect of irrigation regime (30, 40 and 50 percent of field capacity), chemical fertilizers (no-application, 50 and 100 percent), Azospirillum and mycorrhizal (inoculated “+Az and +M” and non-inoculated “-Az and -M”) on the average of plant height (PH), root ratio shoot dry weight (R/S DW), leaf area index (LAI) and catalase (CAT) in Tehran (T) and Varamin (V) regions

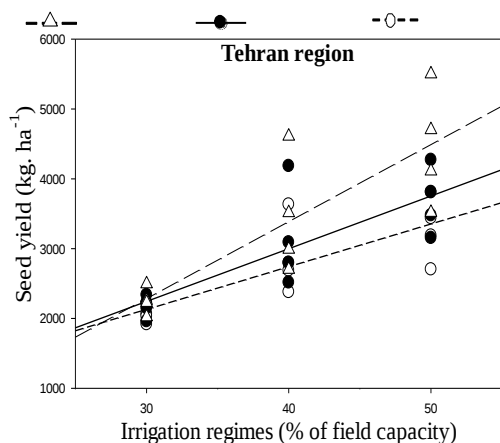
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارد.
 Values (means of three replicates) with different letters are significantly different at $P < 0.05$.

CF0, 50 and 100 % N+P” (عدم استفاده، ۵۰ و ۱۰۰٪ نیتروژن + فسفر)

CF100%
y = 110.4x - 1028
R² = 0.68
p < 0.01

CF50%
y = 75.53x - 22.08
R² = 0.64
p < 0.01

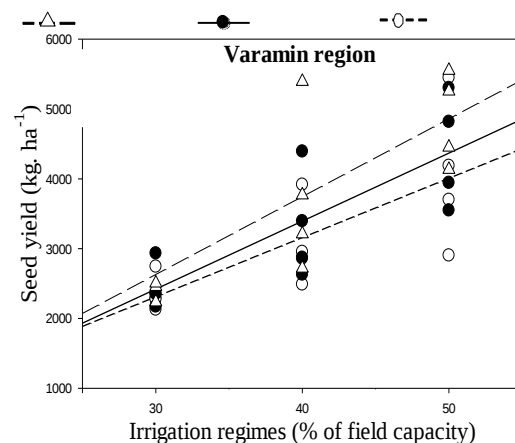
CF0 (Control)
y = 61.25x - 291.7
R² = 0.61
p < 0.01



CF100%
y = 111.5x - 717.8
R² = 0.68
p < 0.01

CF50%
y = 97.43x - 503.3
R² = 0.63
p < 0.01

CF0 (Control)
y = 84.95x - 238.5
R² = 0.54
p < 0.01

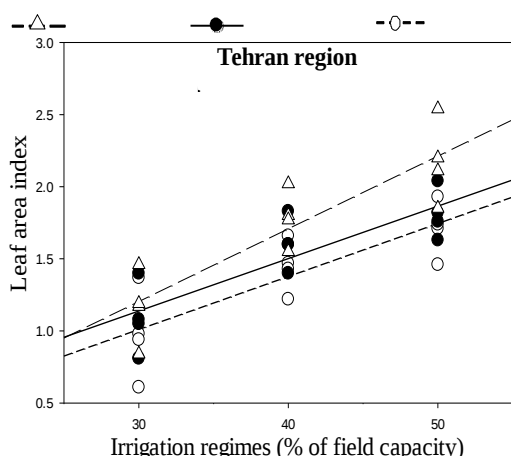


CF0, 50 and 100% N+P” (عدم استفاده، ۵۰ و ۱۰۰٪ نیتروژن + فسفر)

CF100%
y = 0.05x - 0.311
R² = 0.77
p < 0.01

CF50%
y = 0.036x - 0.046
R² = 0.71
p < 0.01

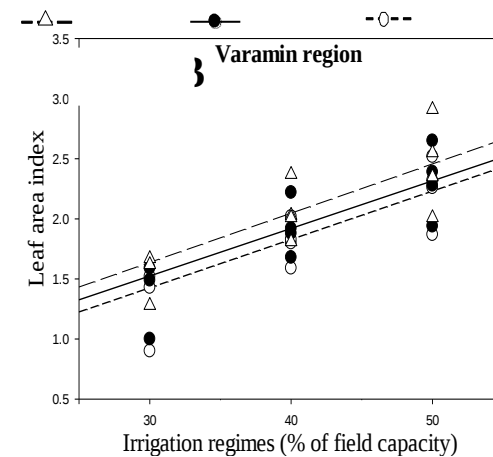
CF0 (Control)
y = 0.034x - 0.093
R² = 0.67
p < 0.01



CF100%
y = 0.041x - 0.408
R² = 0.61
p < 0.01

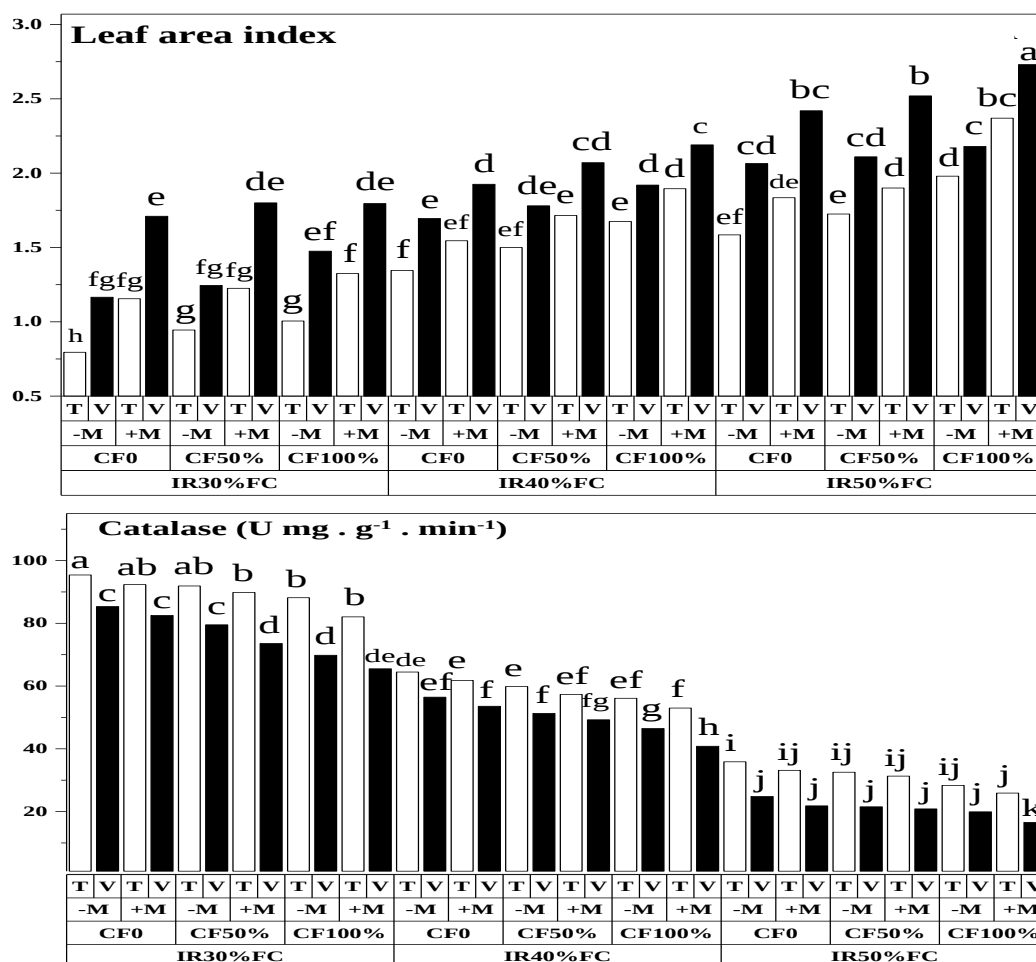
CF50%
y = 0.039x - 0.355
R² = 0.57
p < 0.01

CF0 (Control)
y = 0.040x - 0.22
R² = 0.54
p < 0.01



شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف کودهای شیمیایی×رژیم‌های آبیاری در میزان عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و شاخص سطح برگ در مناطق تهران و ورامین

Fig. 3- Influence of different application of chemical fertilizer×irrigation regimes on seed yield (kg.h⁻¹) and leaf area index in Tehran and Varamin regions



T: منطقه تهران و V: منطقه ورامین
Tehran: T and Varamin: V
"CF0, 50 and 100 % N+P" (عدم استفاده، ۵۰ و ۱۰۰٪ نیترژن + فسفر)
"IR30, 40 and 50 %FC" (آبیاری در زمان ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد از ظرفیت زراعی)
Irrigation regime IR30, 40 and 50 % FC (field capacity)
"CF0, 50 and 100 % N+P" (عدم استفاده، ۵۰ و ۱۰۰٪ نیترژن + فسفر)
Inoculation with mycorrhizal (+M) and without mycorrhizal (-M)
chemical fertilizers CF0, 50 and 100 % N+P (Nitrogen + Phosphor)

شکل ۴- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ و کاتالاز در تیمارهای آبیاری (IR)، کود شیمیایی (CF) و میکوریزا (M) در مناطق تهران و ورامین

Fig. 4- Irrigation regime (IR30, 40 and 50 % FC)×chemical fertilizers (CF0, 50 and 100 % N+P)×mycorrhizal (+M and -M) interaction on the average of leaf area index (A) and catalase (C) in Tehran (T) and Varamin (V) regions

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارد.

Values with different letters are significantly different at $p < 0.05$ (means of three replicates).

شیمیایی و بیولوژیکی سبب کاهش کارایی مصرف آب شد (جدول ۶). افزایش کارایی مصرف آب تحت تنش خشکی متوسط در گیاهان دیگری نیز گزارش شده است (Hazrati et al., 2017). در ارتباط با این زمینه نتایج محققان نشان داده است که آبیاری بیش از حد باعث خروج آب از خاک توسط نیروی ثقلی و تبخیر بیش از حد آب از سطح خاک می‌شود (Hazrati et al., 2017; Abdalla et al., 2007;)

بالاترین مقدار کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی متوسط (آبیاری در زمان ۴۰ درصد از ظرفیت زراعی)×کاربرد ۱۰۰ درصدی از کودهای نیترژن + فسفر مورد نیاز گیاه گل مغربی×تلقیح میکوریزا×کاربرد آزوسپیریوم با میزان ۱/۸۵ گرم دانه به هر لیتر آب مصرفی به‌دست آمد (جدول ۶). هم‌چنین تنش خشکی شدید (IR30%FC)، آبیاری معمولی (IR50%FC)، عدم کاربرد کودهای

(Zegaoui et al., 2017). هم‌چنین گزارش شده است که گیاهان دارای همزیستی میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی آب را از خاک سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌کنند و باعث می‌شوند که پتانسیل آب خاک کاهش بیش‌تری پیدا کرده، سطح برگ‌ها افزایش یابد و طول ریشه افزایش یافته که این خود باعث افزایش نیاز تعرق گیاهان میکوریزایی می‌شود و در نتیجه کارایی مصرف آب گیاه افزایش می‌یابد (Caravaca et al., 2005; Elhindi et al., 2017; Piccinin et al., 2013; Asrar & Elhindi, 2011).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین بالاترین میزان کاتالاز برابر با ۸۹/۹۳ تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین در شرایط آبیاری در شرایط ۳۰ درصد از ظرفیت زراعی (تنش شدید کم‌آبی) در منطقه تهران به‌دست آمده است (شکل ۲). استفاده از کودهای شیمیایی (نیتروژن + فسفر)، کاربرد *آزوسپیریوم* و تلقیح با میکوریزا باعث کاهش میزان کاتالاز در این آزمایش شد (شکل ۴). نتایج محققان افزایش میزان آنتی‌اکسیدانت‌های گیاه تحت تنش خشکی را ناشی از افزایش میزان مقاومت آن‌ها در برابر خشکی و رادیکال‌های آزاد ذکر نمودند (Sheng et al., 2006). نتایج این تحقیق با نتایج دیگر پژوهشگران مطابقت کامل دارد (Ahmed et al., 2009; Pirzad et al., 2011). هم‌چنین گزارش‌های متعددی نشان از کاهش میزان آنتی‌اکسیدانت‌ها در شرایط کاربرد میکوریزا، *آزوسپیریوم* و کودهای شیمیایی به‌دلیل بهبود روابط آبی و تغذیه‌ای گیاه بوده است که مطابق با نتایج این تحقیق است (Sheng et al., 2006; Asrar & Elhindi, 2011; Mokhtassi-Bidgoli et al., 2013).

به‌ترتیب بالاترین و کم‌ترین میزان شاخص سطح برگ برابر با ۲/۹۴ در منطقه ورامین با کاربرد ۱۰۰ درصدی کود شیمیایی و ۱/۰۷ در شرایط آبیاری در زمان ۳۰ درصد از ظرفیت زراعی در منطقه تهران (شکل ۲ و ۴) و هم‌چنین بالاترین و کم‌ترین میزان ارتفاع بوته به‌ترتیب برابر با ۱۸۴ سانتی‌متر در شرایط کاربرد ۱۰۰ درصدی کود شیمیایی و ۳۵ سانتی‌متر در شرایط آبیاری در زمان ۳۰ درصد از ظرفیت زراعی در منطقه تهران به‌دست آمد (شکل ۲). در تمامی رژیم‌های آبیاری کاربرد کودهای شیمیایی، میکوریزا و *آزوسپیریوم* سبب بهبود شرایط رشدی، افزایش شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته گل مغربی شد (شکل ۲ و ۴). رابطه بین میزان شاخص سطح برگ با

رژیم آبیاری در بین کاربرد کودهای شیمیایی مورد بررسی در این آزمایش بر اساس نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی نشان داد استفاده ۱۰۰ درصدی از کود شیمیایی در سطح یک درصد با بالاترین میزان شیب‌خط ($y = 0.041x - 0.408$) در منطقه ورامین و ($y = 0.05x - 0.311$) دارای بالاترین میزان رابطه خطی نسبت به افزایش آب خاک (ظرفیت زراعی) و افزایش شاخص سطح برگ در مناطق تهران و ورامین بوده است (شکل ۳). کاهش میزان شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته تحت تنش خشکی ناشی از کاهش رشد و توسعه سلولی تحت تنش خشکی می‌باشد که مطابق با نتایج این تحقیق است (Liu et al., 2015; Chu et al., 2014; Ahmed et al., 2009). هم‌چنین افزایش میزان سطح برگ و ارتفاع بوته توسط کاربرد کودهای شیمیایی و بیولوژیکی در گیاه گندم گزارش شده است (Caravaca et al., 2005; Piccinin et al., 2013). علت این افزایش در جذب بیش‌تر رطوبت و عناصر غذایی و به تبع آن افزایش تولید ماده خشک، افزایش راندمان انتقال آب در اثر افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه و هم‌چنین افزایش زیست‌توده ریشه به همراه اندام هوایی و در نتیجه باعث افزایش فتوسنتز، سطح برگ و ارتفاع بوته می‌شود (Elhindi et al., 2017; Asrar & Elhindi, 2011; Merlos et al., 2016).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، استفاده از کودهای شیمیایی (کاربرد توأم نیتروژن به همراه فسفر) و بیولوژیک مانند رابطه میکوریزایی و استفاده از *آزوسپیریوم* در تمامی صفات مورد بررسی می‌تواند اثرات منفی تنش کم‌آبی را بر عملکرد گل مغربی کاهش داده، سبب بهبود رشد و عملکرد بذر گل مغربی گردد. رابطه میکوریزایی از طریق افزایش حجم ریشه (تولید ریشه‌های نازک و افزایش طول ریشه)، افزایش جذب آب و مواد غذایی و هم‌چنین استفاده از *آزوسپیریوم* از طریق تثبیت نیتروژن و تولید هورمون رشد ایندول استیک اسید در تنش خشکی باعث بهبود رشد گل مغربی و افزایش عملکرد بذر در مناطق تهران و ورامین شده بود.

References

- Abdalla, M.M., and Khoshiban, N.H., 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research* 3: 2062-2074.
- Ahmed, C.B., Rouina, B.B., Sensoy, S., Boukhris, M., and Abdallah, F.B., 2009. Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environmental and Experimental Botany* 67: 345-352.
- Asrar, A., and Elhindi, K.M., 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using Arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi Journal Biologic Science* 18: 93-98.
- Baghbani-Arania, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Akbar-Boojarb, M.M., and Mokhtassi-Bidgolai, A., 2017. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops and Production* 109: 346-357.
- Caravaca, F., Alguacil, M.M., Hernández, J.A., and Roldán, A., 2005. Involvement of antioxidant enzyme and nitrate reductase activities during water stress and recovery of mycorrhizal *Myrtus communis* and *Phillyrea angustifolia*. *Plant Science* 169: 191-197.
- Chu, G., Chen, T., Wang, Z., Yang, J., and Zhang, J., 2014. Morphological and physiological traits of roots and their relationships with water productivity in water-saving and drought-resistant rice. *Field Crops Research* 165: 36-48.
- Elhindi, K.M., El-Din, A.S., and Elgorban, A.M., 2017. The impact of Arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Saudi Journal Biologic Science* 24: 170-179.
- Fieldsend, A., and Morison, J.I.L., 2001. Contrasting growth and dry matter partitioning in winter and spring evening primrose (*Oenothera* spp.). *Field Crops Research* 68: 9-20.
- Ghasemnezhad, A., and Honermeier, B., 2008. Yield, oil constituents, and protein content of evening primrose (*Oenothera biennis* L.) seeds depending on harvest time, harvest method and nitrogen application. *Industrial Crops Production* 28: 17-23.
- Goodarzi, F., and Tohidinejad, E.A., 2018. Evaluation of yield potential of common millet (*Panicum miliaceum* L.) ecotypes under normal and water deficit conditions. *Journal of Agroecology* 10(1): 135-145. (In Persian with English Summary)
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mokhtassi-Bidgoli, A., and Nicola, S., 2017. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. *Plant Physiology and Biochemistry* 106: 141-148.
- Liu, C., Yang, Z., and Hu, Y.G., 2015. Drought resistance of wheat alien chromosome addition lines evaluated by membership function value based on multiple traits and drought resistance index of grain yield. *Field Crops Research* 179: 103-112.
- Merlos, M.A., Zitka, O., Vojtech, A., Azcón-Aguilar, C., and Ferrol, N., 2016. The arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* differentially regulates the copper response of two maize cultivars differing in copper tolerance. *Plant Science* 253: 68-76.
- Mokhtassi-Bidgoli, A., AghaAlikhani, M., Nassiri-Mahallati, M., Zand, E., Gonzalez-Andujar, J.L., and Azari, A., 2013. Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of *Descurainia sophia* in response to different nitrogen rates and water regimes. *Industrial Crops and Production* 44: 583-592.
- Mouradi, M., Bouizgaren, A., Farissi, M., Latrach, L., Qaddoury, A., and Ghoulam, C., 2016. Seed osmopriming improves plant growth, nodulation, chlorophyll fluorescence and nutrient uptake in alfalfa (*Medicago sativa* L.) rhizobia symbiosis under drought stress. *Science Horticulture* 213: 232-242.
- Piccinin, G.G., Braccini, A.L., Dan, L.G., Scapim, C.A., Ricci, T.T., and Bazo, G.L., 2013. Efficiency of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* on agronomic characteristics and yield of wheat. *Industrial Crops Production* 43: 393-397.
- Pirzad, A., Shakiba, M.R., Zehtab-Salmasi, S., Mohammadi, S.A., Darvishzadeh, R., and Samadi, A., 2011. Effect of water stress on leaf relative water content, chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L. *Journal of Medicinal Plants Research* 5: 2483-2488.
- Shahryari, R., 2018. Quantitative and qualitative comparison of wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under terminal water stress conditions and foliar application of humic acid. *Journal of Agroecology* 10(1): 175-185 (In Persian with English Summary)

- Sheng, Q., Zou, Y.N., and Xia, R.X., 2006. Effects of water stress and Arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxygen metabolism and antioxidant production by citrus (*Citrus tangerine*) roots. *Plant Science* 169: 191-197.
- Tahramooz, H., and Ghalavand, A., 2018. Reducing the effects of water stress using vermicompost and mineral zeolite in Sunflower (*Helianthus annus* L.). *Journal of Agroecology* 10(1): 81-93. (In Persian with English Summary)
- Vurukonda, S.S.K.P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., and Skz, A., 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research* 184: 13-24.
- Zegaoui, Z., Planchais, S., Cabassa, C., Djebbar, R., Belbachir, O.A., and Carol, P., 2017. Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought. *Australian Journal Plant Physiology* 218: 26-34.



Interaction Effects of Fertilizers and Drought Stress on Morpho-Physiological Characteristics and Yield of *Oenothera biennis* L.

M. Mohammadi¹, S.A.M. Modarres-Sanavy^{2*}, H. Pirdashti³, Z. Tahmasebi-Sarvestani⁴ and B. Zand⁵

Submitted: 14-05-2018

Accepted: 29-09-2018

Mohammadi, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Pirdashti, H., Tahmasebi-Sarvestani, Z. and Zand, B. 2020. Interaction effects of fertilizers and drought stress on morpho-physiological characteristics and yield of *Oenothera biennis* L. Journal of Agroecology. 11 (4):1389-1407.

Introduction

To improve crops productivity under drought stress conditions, not only proper management of inputs in time, amount and form, but also the understanding of important physiological processes and defense mechanisms are required to avoid drought stress. Most plant species have the ability to form a symbiosis relationship with the Arbuscular mycorrhizal fungi. AMF could increase growth and yield of plants under water stress, and it is one of the most important biological fertilizers which can be used in mycorrhizal and Azospirillum fields. Research results have shown that mycorrhizal and Azospirillum fungi can moderate the adverse effects of drought stress in plants. One of the most important effects in terms of drought stress is changing the levels of some hormones in plant such as acetic acid and indole acetic acid. Other effects are direct absorption of water by fungal hyphae in soil and its transfer to the host plant, increasing leaf gas exchange, photosynthesis rate as well as enhance the activity of antioxidant enzymes in corn, excellent nitrate and phosphorus assimilation. In addition, extend the water absorption by increasing the leaf water hydration, leaf photosynthesis activity, osmotic regulation and changes in cell membrane flexibility. Hence, the current study was aimed to evaluate chemical fertilizers (nitrogen + phosphorus) and biological fertilizers (*Azospirillum* and mycorrhizal fungi) effects on water deficit stress on morpho-physiological traits and yield of evening primrose at different experimental stations (Tehran and Varamin regions).

Material and Methods

Two experiments were conducted at two experimental stations in Tehran and Varamin in 2014 and 2015. Experiments were conducted in a split factorial layout within a randomized complete block design with three replications. Three irrigation regime treatments (IR 50 % FC, IR 40 % FC and IR 30 % FC; 50, 40 and 30 percent of field capacity) were randomized to the main plots. Subplots were consisted of factorial combinations of three chemical fertilizers (CF 0, CF 50 % and CF 100 %: no-application, 50 and 100 percent of nitrogen + phosphorus needed by plant) as well as four biological fertilizers ("–M and –Az" and "+M and +Az": non-inoculated and inoculated with mycorrhizal and *Azospirillum*).

Results and Discussion

Water stress (moderate and severe) reduced plant height, shoot dry weight, leaf area index, seed yield, phosphorus content and relative water content. However, the highest water use efficiency was obtained at moderate water deficit stress. In addition, the highest root dry weight, root ratio shoot dry weight and catalase were obtained at severe water deficit stress. The application of chemical fertilizers and biological fertilizers in all cases mitigated the negative effects of water deficit stress on plant height, shoot dry weight, root dry weight, root ratio shoot dry weight, leaf area index, seed yield, phosphorus content, catalase, relative water content and water use efficiency traits. Water use efficiency of evening primrose increased with moderate water deficit, application of chemical (Nitrogen + Phosphorus) and biological (mycorrhizal fungi and *Azospirillum*) fertilizers.

1, 2, 3, 4 and 5- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Associate Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Genetic and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran and Professor Agronomy, Seed and Plant Improvement Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Varamin, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: modaresa@modares.ac.ir)

Doi: 10.22067/jag.v11i4.72722

Conclusion

The compelling results of this study revealed that the inoculation mycorrhizal and *Azospirillum* could improve evening primrose growth under water deficit stress. Results showed that the application of biological fertilizers can improve evening primrose growth under drought stress. Moreover, mycorrhiza symbioses can increase absorption of moisture and nutrients, reduced irrigation requirements, enhancement drought resistance, more access to food in new places, production of thinner roots, increase root length and nitrogen fixation, which lead to reduction of drought detrimental effects.

Keywords: Azospirillum, Biological Fertilizer, Mycorrhizal, Water Deficit Stress and Yield.