



افزایش عملکرد گل مغربی (*Oenothera biennis* L.) تحت تنش خشکی با کاربرد کودهای

شیمیائی و بیولوژیکی

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

۱. دانشجوی دکتری زراعت گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد تمام گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. دانشیار گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری طبهرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴. استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، ورامین، ایران

۵. دانشیار گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۱۲

چکیده

خشک‌سالی مشکل شایعی است که به‌صورت جدی کمیت و کیفیت تولیدات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. استفاده از تکنیک‌های زراعی از جمله تقویت شرایط بیولوژیک خاک می‌تواند در کاهش اثرات تنش خشکی مؤثر باشند. در رابطه با این موضوع آزمایشی به‌صورت مزرعه‌ای در دو منطقه تهران (نیمه‌خشک) و ورامین (خشک) 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، تنش متوسط و تنش شدید (آبیاری در زمان ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بود و ترکیب فاکتوریل شامل سه رژیم کود شیمیایی (بدون مصرف، مصرف ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیتروژن «اوره» + فسفر «سوپر فسفات تریپل» مورد نیاز گیاه)، قارچ میکوریزایی (کاربرد و عدم کاربرد در زمان کاشت بذر) و باکتری آزوسپیریلوم (کاربرد و عدم کاربرد در زمان کاشت بذر، مرحله ۷ و ۱۴ برگی) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن ۱۰۰۰ دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه جانبی در بوته با کاهش آبیاری به‌طور معنی‌داری در شرایط آب‌وهوایی خشک در منطقه ورامین کاهش یافت. تلقیح میکوریزا همراه با کاربرد توأم کودهای شیمیایی و آزوسپیریلوم باعث بهبود میزان عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن ۱۰۰۰ دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه جانبی در بوته در شرایط تنش خشکی شد. میزان عملکرد بیولوژیک و دانه در شرایط عدم وجود تنش خشکی به همراه کاربرد کودهای شیمیایی و بیولوژیک نسبت به شرایط وجود تنش شدید خشکی به همراه عدم کاربرد کودهای شیمیایی و بیولوژیک به ترتیب به میزان ۶۰ و ۶۵ درصد برای منطقه تهران و ۵۰ و ۵۹ درصد برای منطقه ورامین افزایش یافت. در مجموع تنش خشکی باعث کاهش میزان عملکرد و استفاده از کودهای بیولوژیک سبب مقاومت گیاه به تنش خشکی گردیده است.

واژه‌های کلیدی: آزوسپیریلوم، فسفر، کم‌آبیاری، میکوریزا، نیتروژن

مقدمه

با گلهایی به رنگ زرد روشن، گیاهی دوساله، مقاوم به سرما، تولید ساقه گل‌دهنده در سال دوم و حساس به تنش خشکی از مهم‌ترین آن‌ها است (Ghasemnezhad and Honermeier, 2008). از مهم‌ترین اثرات دارویی

علاقه برای تولید گیاهان دارویی و تقاضا برای تولید محصولات طبیعی و بدون استفاده از مواد شیمیایی در جهان رو به افزایش است (Baghbani-Arani et al., 2017). در بین گیاهان دارویی، گل مغربی (*Oenothera biennis* L.)

کم‌آبی در خاک هست (Asrar and Elhindi, 2011). میکوریزا افزایش انشعابات ریشه گیاه و ریشه چارچ در یک محدوده معین از خاک را ممکن می‌سازد (Sheng et al., 2006) و از این طریق موجب تغییراتی در روابط آبی گیاه و بهبود مقاومت به کم‌آبی در گیاه میزبان می‌شود (Auge, 2001). نتایج محققان نشان از اثر چارچ میکوریزایی در افزایش رنگدانه‌ها از طریق افزایش رشد ریشه، جذب آب و عناصر غذایی در شرایط خشکی بود (Asrar and Elhindi, 2011). آزوسپیریوم یک میکروارگانسیم همیار تثبیت‌کننده نیتروژن است (Julia et al., 2017). کاربرد مخلوط باکتری-های محرک رشد، میزان آنتی‌اکسیدانت‌های گیاه کلزا را در شرایط تنش خشکی کاهش و نشان از بهبود شرایط کلزا تحت تنش خشکی بوده است (Yasari and Patwardhan, 2007). در تحقیق دیگر نیز کاربرد مخلوط باکتری‌های محرک رشد میزان عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت را افزایش داد (Julia et al., 2017). همچنین در گزارشی کاربرد آزوسپیریوم باعث افزایش میزان مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی و افزایش میزان تعداد شاخه‌های جانبی، وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در بوته، تعداد کپسول در بوته و عملکرد بذر در هکتار گیاه کلزا گردیده است (Yasari and Patwardhan, 2007).

با توجه به این موضوع که تاکنون مطالعات زیادی در ارتباط با این گیاه انجام نگردیده است، مطالعه حاضر با هدف اثر کاربرد کودهای شیمیایی (نیتروژن «اوره» + فسفر «سوپر فسفات تریپل») و بیولوژیک (میکوریزا و آزوسپیریوم) در میزان عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن ۱۰۰۰ دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه جانبی در بوته گل مغربی در شرایط تنش خشکی در مناطق تهران با اقلیم نیمه‌خشک (Sadeghi and Attarod, 2015) و ورامین با اقلیم خشک (Emam and Zahtabian, 2008) مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای و در دو منطقه شامل مزرعه نگهداری گیاهان فضای سبز شهرداری منطقه ۱۴ (واقع در تهران و 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 مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران (واقع در ورامین، عرض

گزارش‌شده گیاه گل مغربی می‌توان به ضد آرزوی، ضدالتهاب، کاهش‌دهنده‌ی کلسترول، کاهش فشارخون و گشادکنندگی رگ‌ها به دلیل اسید چرب گامالینونیک موجود در بذر اشاره نمود (Fieldsend and Morison, 2001).

مقدار رطوبت خاک در دسترس گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک یک عامل محدودکننده مهم برای عملکرد محصول و بقاء آن است (Pirzad et al., 2011). خشک‌سالی مشکل شایعی است که به‌صورت جدی کمیت و کیفیت تولیدات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Abdalla et al., 2007). بیش از ۵۰ درصد مناطق جهان در قسمت خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند (Ahmed et al., 2009). رشد گیاهان در تنش خشکی کاهش می‌یابد (Pirzad et al., 2011). کمبود آب در جهان و ایران همواره به‌عنوان یک عامل محدودکننده کشت و پرورش گیاهان مطرح بوده است (Abdalla et al., 2007). تنش خشکی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم روی نمو گیاه تأثیر می‌گذارد (Ahmed et al., 2009). تشخیص زود هنگام تنش خشکی می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات آن در گیاه داشته باشد (Pirzad et al., 2011). در همین زمینه محققان گزارش کرده‌اند که تنش خشکی باعث کاهش میزان فتوسنتز و در نتیجه آن باعث کاهش میزان عملکرد بیولوژیک و تعداد شاخه‌های جانبی گیاه کلزا می‌گردد (Yasari and Patwardhan, 2007).

با توجه به اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های صنعتی از جمله کودهای شیمیایی، اهمیت توجه به کشاورزی پایدار به‌خصوص در تولید گیاهان دارویی افزوده می‌شود (Gholamhoseini et al., 2013). در این راستا، استفاده از کودهای آلی و بیولوژیک به‌عنوان روش‌هایی برای نیل به سوی کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته‌اند (Baghbani-Arani et al., 2017). مطالعات بلندمدت نشان می‌دهند استفاده مداوم از کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را به علت افت خصوصیات مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک و عدم وجود ریزمغذی‌ها در این کودها کاهش می‌دهد (Gholamhoseini et al., 2013).

ریشه‌های گیاهانی که میکوریزایی گردیده‌اند قادر به استفاده بیشتر از منابع غذایی خاک هستند (Sheng et al., 2006). همزیستی میکوریزایی جذب عناصر غذایی کم‌تحرک را افزایش می‌دهد (از طریق افزایش رشد ریشه و رشد ریشه گیاه در مکان‌های جدید) که نشان‌دهنده نقش مثبت این همزیستی روی رشد گیاه میزبان به‌ویژه در شرایط وجود تنش

فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ و ۲ تجزیه شیمیایی آب آبیاری در جدول ۳ ارائه گردیده است. همچنین داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی در سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ به دست آمده و در شکل ۱ ارائه گردیده است. آب‌وهوای مناطق تهران و ورامین بر اساس شاخص کوپن به ترتیب نیمه‌خشک (Sadeghi and Attarod, 2015) و خشک (Emam and Zahtabian, 2008) است.

جغرافیایی ۳۵ درجه، ۲۳ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه، ۵۳ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۹۱۴ متر از سطح دریا) انجام شد. نمونه‌های خاک از پنج نقطه از عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتر از خاک تهیه و به همراه نمونه آب آبیاری به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری منتقل گردید. مشخصات

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی خاک محل‌های آزمایش

Table 1. Soil physical properties of experiment station

عمق خاک Depth (cm)	توزیع اندازه ذرات (درصد) Particle size distribution (%)				بافت خاک Soil texture	نقطه پژمردگی Wilting point (%)	هدایت هیدرولیکی Hydraulic conductivity (cm s ⁻¹)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته خاک pH	
	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	مواد آلی Organic matter						
Tehran region منطقه تهران										
0-30	47	16	37	2.94	sandy clay	شنی-رسی	3.21	2.7×10^{-3}	1.22	7.05
30-60	47	17	37	2.31	sandy clay	شنی-رسی	3.21	2.7×10^{-3}	1.08	7.21
Varamin region منطقه ورامین										
0-30	39	18	43	3.12	clay	رسی	3.93	2.2×10^{-3}	1.95	8.14
30-60	39	18	43	3.01	clay	رسی	3.93	2.2×10^{-3}	1.28	8.84

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی خاک محل‌های آزمایش

Table 2. Soil chemical properties of experimental regions

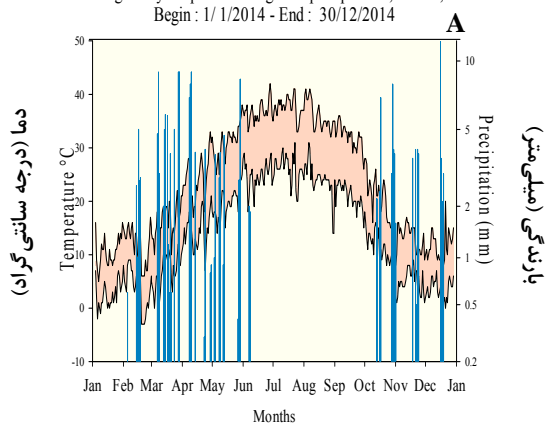
Tehran region		منطقه تهران					
عمق خاک Depth (cm)	Cations			یون‌های مثبت			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺
	mg kg ⁻¹			meq L ⁻¹			g kg ⁻¹
0-30	1.87	28.50	13.29	0.34	0.021	1.86	0.19
30-60	1.05	36.84	3.76	0.35	0.031	1.72	0.12
		Anions			یون‌های منفی		
	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻
	mg kg ⁻¹			meq L ⁻¹			mg 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
Varamin region		منطقه ورامین					
عمق خاک Depth (cm)	Cations			یون‌های مثبت			
	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
		Anions			یون‌های منفی		
	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻
	mg kg ⁻¹			meq L ⁻¹			mg 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 محل‌های آزمایش

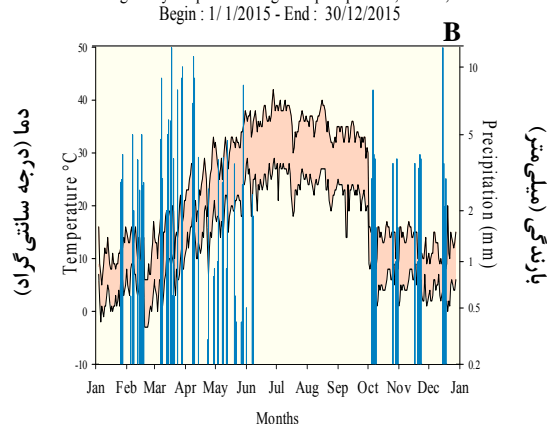
Table 3. Chemical analysis of the water used in irrigation of evening primrose

Tehran region			منطقه تهران				یون منفی			
pH	EC (dSm ⁻¹)	SAR	Cations (meq L ⁻¹)		یون مثبت		Anions (meq L ⁻¹)		یون منفی	
			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
Varamin region			منطقه ورامین				یون منفی			
pH	EC (dSm ⁻¹)	SAR	Cations (meq L ⁻¹)		یون مثبت		Anions (meq L ⁻¹)		یون منفی	
			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

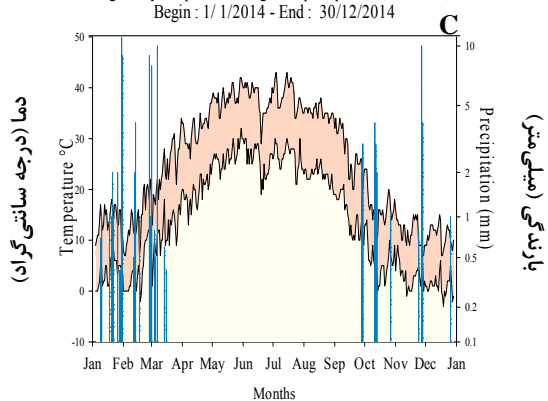
میانگین دما و بارندگی تهران از سال ۱۳۹۲/۹/۱۱ تا ۱۳۹۳/۹/۹

Average daily temperature range and precipitation, Tehran, Iran
Begin : 1/ 1/2014 - End : 30/12/2014

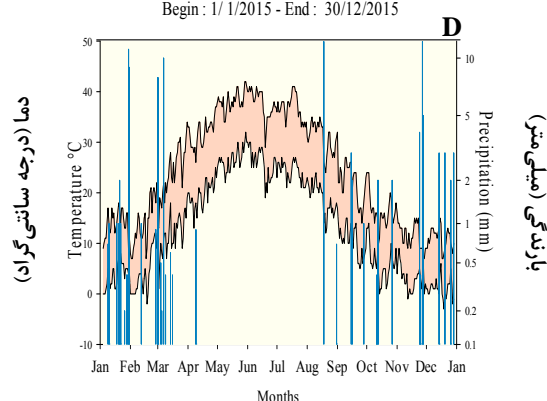
میانگین دما و بارندگی تهران از سال ۱۳۹۳/۹/۱۱ تا ۱۳۹۴/۹/۹

Average daily temperature range and precipitation, Tehran, Iran
Begin : 1/ 1/2015 - End : 30/12/2015

میانگین دما و بارندگی ورامین از سال ۱۳۹۲/۹/۱۱ تا ۱۳۹۳/۹/۹

Average daily temperature range and precipitation, Varamin, Iran
Begin : 1/ 1/2014 - End : 30/12/2014

میانگین دما و بارندگی ورامین از سال ۱۳۹۳/۹/۱۱ تا ۱۳۹۴/۹/۹

Average daily temperature range and precipitation, Varamin, Iran
Begin : 1/ 1/2015 - End : 30/12/2015

شکل ۱. داده‌های هواشناسی مناطق تهران (A و B) و ورامین (C و D).

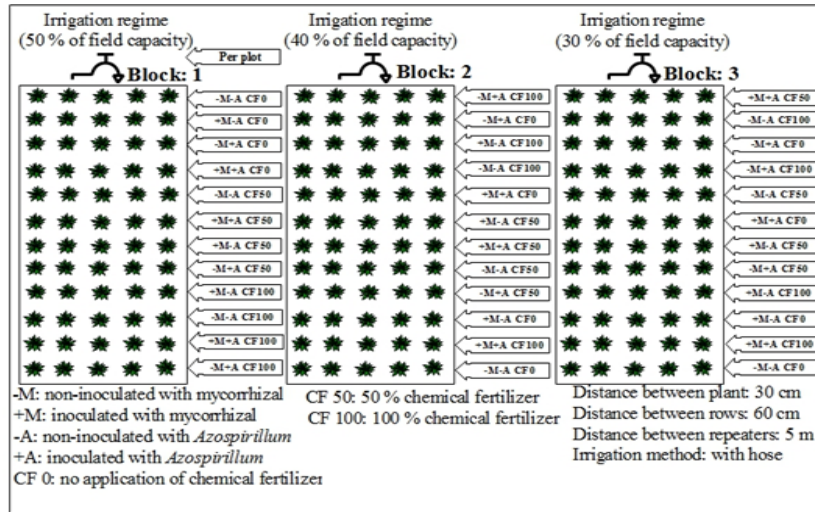
Fig. 1. Meteorological data at grommet observatory, Tehran (A and B) and Varamin (C and D) regions.

آزمایشی به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد (شکل ۲). تیمارهای عامل اصلی شامل سه سطح تیمار بدون تنش آبی (آبیاری در

به منظور ارزیابی اثر همزیستی میکوریزایی، باکتری آزوسپیریولوم، کود شیمیایی نیتروژن + فسفر بر خصوصیات عملکرد و اجزای عملکرد گل مغربی در شرایط تنش خشکی،

به میزان هشت گرم برای هر بذر در هنگام کاشت استفاده گردید (Asrar and Elhindi, 2011). باکتری آزوسپیریلوم لیپوفروم تهیه شده، در سه مرحله به شرح زیر استفاده گردید: مرحله اول به صورت بذر مال و به میزان دو لیتر در هکتار، مرحله دوم همراه با آب آبیاری در مرحله هفت برگی در کیسه‌های نشاء و مرحله سوم یک ماه بعد از مرحله دوم به صورت محلول در آبیاری در مزرعه استفاده گردید (Julia et al., 2017). کود سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در پاییز بعد از آماده‌سازی زمین و کود اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سه مرحله هفت برگی، چهارده برگی و قبل از گل‌دهی در کرت‌های تحت تیمار کودهای نیتروژن + فسفر مصرف شد.

زمان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (آبیاری در زمان ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (آبیاری در زمان ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) با استفاده از گزارش‌های مرکز تحقیقات و کشاورزی کشور مصر بود و ترکیب فاکتوریل از سه رژیم شامل کود شیمیایی (بدون مصرف کود، مصرف ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیتروژن + فسفر موردنیاز گیاه، بر اساس میزان ذکر شده توسط مرکز تحقیقات و کشاورزی کشور مصر (<http://www.agr-egypt.gov.eg>), کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزایی و باکتری آزوسپیریلوم (Julia et al., 2017) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. در ادامه مقدار ۱۶ گرم از خاکی که شامل ریشه، خاک و اسپور قارچ میکوریزا آربوسکولار بود از شرکت زیست‌فناوری سبز آسیا تهیه گردید و هم‌زمان با کاشت بذرها در کیسه‌های نشاء با ابعاد ۳۰×۲۰



شکل ۲. اطلاعات تیمارهای طرح شامل رژیم آبیاری (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد از ظرفیت زراعی، کود شیمیایی (عدم استفاده، ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی موردنیاز گل مغربی)، میکوریزا (تلقیح و عدم تلقیح)، آزوسپیریلوم (تلقیح و عدم تلقیح "+Az and -Az")، فاصله روی ردیف‌ها و بین ردیف‌ها به ترتیب ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها ۵ متر

Fig. 2. Schematic diagram and the experimental procedure of evening primrose under irrigation regime (IR30%FC, IR40%FC and IR50%FC "30, 40 and 50 percent of field capacity"), chemical fertilizers (CF0, CF50% and CF100%), mycorrhizal fungi (+M and -M "inoculated and non-inoculated with mycorrhizal fungi") and Azospirillum (+Az and -Az "inoculated and non-inoculated with Azospirillum").

کرت از آب پر شده و بعد از گذشت ۴۸ ساعت، نمونه خاک تهیه شد و پس از توزین، در آون با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد (Merlos et al., 2016). سپس نمونه را با ترازوی دقیق وزن و میزان رطوبت تبخیر شده (درصد رطوبت وزنی خاک) محاسبه گردید. برای تعیین میزان آب موردنیاز برای هر یک از

تیمارهای تنش خشکی در مرحله گلدهی (هنگام گلدهی تا انتهای فصل) بر اساس ظرفیت زراعی خاک اعمال گردید به این صورت که برای اعمال تیمارهای تنش کم آبی به ترتیب این مراحل اعمال گردید: ابتدا ظرفیت زراعی مزرعه به دست آمد، به این صورت که ابتدا یک کرت (طول دو متر × عرض دو متر) از هر مکان آزمایشی را کاملاً تا انتهای بلندی دیواره

خاک مزرعه نمونه‌برداری صورت گرفت و هم‌زمان با آن عدد انعکاس‌سنج زمانی نیز قرائت شد (Pirzad et al., 2011). 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. پس از آماده‌سازی کیسه‌های نشاء، بذره‌های گل مغربی همراه با اعمال تیمارها در آن قرار داده شد و در طول مدت رشد نشای گل مغربی، عملیات تهیه بستر زمین اصلی در هر دو منطقه به‌صورت جداگانه 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 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 گردید. تاریخ کاشت و برداشت این گیاه به ترتیب ۱۳۹۳/۳/۱ و ۱۳۹۴/۶/۳۰ بوده است. در پایان دوره رشد صفات تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (در پایان دوره رشد بعد از حذف اثر حاشیه‌ای یک مترمربع از سطح زمین گیاه بریده شد و بعد از ۴۸ ساعت قرار دادن در گرم‌کن) محاسبه گردید و داده‌ها در صفحات صفحه گستر Excel ثبت گردید و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها مطابق روش تجزیه واریانس از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ استفاده گردید. نتایج آزمون بارتلت نشان داد که واریانس تمامی صفات بین مکان‌های آزمایش یک‌نواخت بود و داده‌های هر مکان با یکدیگر مورد مقایسه و آنالیز قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس بیانگر اختلاف معنی‌دار رژیم آبیاری، کود شیمیایی، میکوریزا و آزوسپیریوم به همراه مکان اجرای طرح و اثر متقابل بین تنش خشکی در مکان، کود شیمیایی در تنش خشکی، میکوریزا در تنش خشکی، آزوسپیریوم در تنش خشکی، کود شیمیایی در میکوریزا، کود شیمیایی در مکان، آزوسپیریوم در میکوریزا، مکان در میکوریزا، آزوسپیریوم در مکان، میکوریزا در کود شیمیایی در تنش خشکی، آزوسپیریوم در کود شیمیایی در تنش خشکی، مکان

تیمارهای تنش کم‌آبی، قبل از اجرای آزمایش، درصد رطوبت وزنی (θ_m) نمونه‌های خاکی دست‌نخورده از عمق توسعه ریشه (صفر تا ۶۰ سانتی‌متر) در حلقه‌های لاستیکی مخصوص ریخته شد و پس از آن که با اضافه کردن آب مقطر به حالت اشباع درآمد، تحت مکش در فشارهای ۰/۳، ۰/۵، ۱۰- و ۱۵- بار توسط صفحات فشاری به همراه غشای تحت‌فشار قرار گرفت و منحنی رطوبتی آن‌ها ترسیم گردید (با استفاده از این منحنی‌ها و با توجه به میزان آب خارج‌شده از خاک زمان لازم برای آبیاری در ظرفیت‌های زراعی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد محاسبه می‌گردد) (Pirzad et al., 2011). برای تعیین دقیق زمان آبیاری برای هر تیمار کم‌آبیاری در هر آزمایش، با گذشت ۴۸ ساعت از زمان آبیاری به‌صورت روزانه توسط آگر از خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری انجام شد تا درصد رطوبت وزنی مشخص شود (Baghbani-Arani et al., 2017). پس از رسیدن درصد رطوبت وزنی خاک به میزان تعیین‌شده برای اعمال تیمار، از رابطه شماره یک حجم آب مصرفی موردنیاز هر تیمار محاسبه شد (Merlos et al., 2016).

$$V = (\theta_{FC} - \theta_m) \times BD \times A \times D / E_i \quad [1]$$

در این رابطه V حجم آب آبیاری موردنیاز برحسب مترمکعب، θ_{FC} درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی خاک در مکش ۰/۳ بار یا معادل ۰/۳ مگاپاسگال، θ_m درصد رطوبت وزنی خاک (کسر وزن خاک مرطوب برحسب گرم از وزن خاک خشک برحسب گرم تقسیم بر وزن خاک مرطوب برحسب گرم) قبل از آبیاری، BD وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، A مساحت کرت آزمایشی برحسب متر (طول دو متر × عرض دو متر)، D عمق توسعه ریشه برحسب متر (۰/۶ متر) و E_i راندمان آبیاری برحسب درصد هستند.

برای محاسبه راندمان آبیاری از رابطه دو استفاده شد (Pirzad et al., 2011).

$$E_i = V_n / Q \times T_{co} \quad [2]$$

که در آن E_i راندمان آبیاری برای یک مترمربع زمین، V_n حجم خالص آبیاری برحسب مترمکعب برای یک مترمربع زمین، Q دبی ورودی آب برحسب مترمکعب در دقیقه و T_{co} زمان قطع آبیاری برحسب دقیقه) هستند. 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

در کود شیمیایی در تنش خشکی، مکان در آزوسپیریوم در میکوریزا در تنش خشکی و مکان در آزوسپیریوم در میکوریزا در کود شیمیایی در تنش خشکی، آزوسپیریوم در میکوریزا در کود شیمیایی در تنش خشکی، مکان در میکوریزا در کود شیمیایی در تنش خشکی، مکان در آزوسپیریوم در کود

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری (IR)، کود شیمیایی (CF)، میکوریزا (M)، آزوسپیریوم (Az) و مکان اجرای طرح (F) بر برخی خصوصیات عملکردی گل مغربی

Table 4. Analysis of variance for the main and interaction effects of field locations (F), irrigation regime (IR), chemical fertilizers (CF) and mycorrhizal fungi (M) and Azospirillum (Az) on yield of *Oenothera biennis*.

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branch per plant	تعداد کپسول در بوته Number of capsule per plant	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 grain weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
F	1	172.923**	336.082**	819.110**	0.698**	37069020**	6178070**
Block	3	6.521 ns	13.210 ns	49.310 ns	0.027 ns	1465758 ns	244293 ns
IR	2	2642.871**	5317.035**	12880.160**	10.916**	588857946**	98142951**
IR*F	2	108.404**	219.593**	535.089**	0.472**	24375580**	4060910**
Main error	8	11.891	24.088	58.915	0.050	2672724	445454
CF	2	235.634**	477.243**	1162.584**	0.980**	52288146**	8714671**
M	1	999.389**	2022.346**	4961.660**	4.151**	223729698**	37288223**
Az	1	283.274**	559.567**	1350.937**	1.240**	61422696**	10237316**
IR*CF	4	273.124**	553.134**	1321.420**	1.218**	60285116**	10046186**
IR*M	2	244.209**	443.921**	1063.301**	0.893**	48146964**	8024594**
IR*Az	2	59.944**	127.377**	287.084**	0.242**	13033870**	2171645**
CF*M	2	54.016**	119.419**	267.621**	0.225**	12110898**	2025483**
CF*Az	2	4.218 ns	8.746 ns	28.392 ns	0.018 ns	970470 ns	161745 ns
CF*F	2	56.272**	126.014**	283.753**	0.239**	12872718**	2145853**
M*Az	1	89.808**	169.716**	405.316**	0.341**	18387558**	3067593**
M*F	1	77.777**	155.551**	389.344**	0.324**	17491528**	2916588**
Az*F	1	86.148**	174.508**	426.820**	0.359**	19363098**	3225183**
IR*CF*M	4	44.969**	97.092**	232.797**	0.188**	10117396**	1685566**
IR*CF*Az	4	42.982**	89.068**	212.955**	0.179**	9660930**	1615155**
IR*CF*F	4	43.485**	85.086**	215.445**	0.181**	9783898**	1638983**
CF*M*Az	2	1.449 ns	5.935 ns	9.177 ns	0.006 ns	325614 ns	54769 ns
CF*M*F	2	2.802 ns	8.676 ns	33.882 ns	0.012 ns	629754 ns	105959 ns
M*Az*F	1	83.535**	171.241**	418.829**	0.353**	19430602**	3166767**
IR*M*Az	2	63.805**	123.172**	301.260**	0.254**	13632944**	2267824**
IR*M*F	2	55.772**	121.054**	291.187**	0.245**	13201284**	2211664**
IR*Az*F	2	5.456 ns	12.317 ns	20.775 ns	0.001 ns	35142 ns	7857 ns
CF*Az*F	2	3.711 ns	9.340 ns	22.843 ns	0.019 ns	1036296 ns	182716 ns
IR*CF*M*Az	4	49.726**	92.626**	226.549**	0.191**	10278704**	1762934**
IR*CF*M*F	4	53.929**	103.165**	252.325**	0.212**	11446998**	1937833**
IR*CF*Az*F	4	49.140**	95.491**	243.557**	0.197**	10598432**	1767922**
IR*M*Az*F	2	58.363**	114.174**	281.251**	0.235**	12668484**	2117414**
CF*M*Az*F	2	6.006 ns	8.037 ns	4.983 ns	0.004 ns	226068 ns	37698 ns
IR*CF*M*Az*F	4	115.925**	246.852**	576.303**	0.488**	26280666**	4383111**
Sub error	132	11.320	22.930	56.084	0.047	2544294	424049
C.V. (%)		26.430	13.760	28.760	15.174	27	25

ns: غیر معنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد
ns, not significant; *Significant at the 0.05 probability level; ** Significant at the 0.01 probability level

شاخه‌های جانبی

حداکثر تعداد شاخه‌های جانبی (۱۳/۸ عدد) در تیمار آبیاری معمولی (بدون تنش خشکی یا آبیاری در زمان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) همراه با استفاده کامل از کودهای شیمیایی و کاربرد میکوریزا و آزوسپیریوم در منطقه تهران (دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک) به دست آمد و حداقل تعداد آن برابر با ۶/۷ عدد در تیمار خشکی شدید و عدم استفاده از کودهای شیمیایی و بیولوژیکی در منطقه ورامین (دارای آب‌وهوای خشک) به دست آمد (جدول ۵). در تمامی تیمارهای تنش متوسط (آبیاری در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و شدید خشکی (آبیاری در زمان ۳۰ درصد ظرفیت زراعی)، استفاده از کودهای بیولوژیک و شیمیایی (اصلی و برهمکنش) سبب افزایش میزان تعداد شاخه جانبی شد (جدول ۵).

تعداد شاخه‌های جانبی بوته به‌طور عمده به میزان دریافت نور، حاصلخیزی خاک، میزان رطوبت خاک و وجود عوامل تنش‌زا مانند خشکی بستگی دارد (Elhindi et al., 2017; Vurukonda et al., 2016; Caravaca et al., 2005; Merlos et al., 2016). وجود شرایط ذکرشده در منطقه تهران باعث ایجاد شرایط بهینه رشد و ایجاد شاخه‌های فرعی بیشتر شد. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق با نتایج دیگر محققان در گیاهان دیگر مطابقت دارد (Mouradi et al., 2009; Abdalla et al., 2007; Ahmed et al., 2016). تنش خشکی نقش مهمی در کاهش جذب مواد غذایی توسط گیاه و کاهش تحرک آن‌ها در خاک دارد (Liu et al., 2015; Zegaoui et al., 2017; Mouradi et al., 2016). مکانیسم‌های جذب و انتقال مواد غذایی در خاک مانند جریان‌های انتشار، جریان توده‌ای و از جمله اسمز، همگی تابع مقدار رطوبت در خاک هستند و در شرایط کم شدن آب خاک، جذب و انتقال عناصر غذایی کاهش و این محدودیت سبب کاهش فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود (Izzo et al., 1991). این در حالی است که استفاده از کودهای بیولوژیک مانند آزوسپیریوم و میکوریزا می‌تواند تأثیر زیادی روی رشد و نمو گیاه در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی لازم گیاه داشته باشند (Boomsma and Vyn, 2008). میکوریزا و آزوسپیریوم سبب افزایش جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، مس و روی در خاک‌های خشک توسط ریشه گیاه می‌شوند (Rillig, 2004). استفاده از کودهای بیولوژیک در شرایط تنش خشکی سبب افزایش

مقاومت گیاه به آن گردیده و این موضوع سبب بهبود رشد رویشی و در نتیجه افزایش تعداد شاخه‌های جانبی می‌گردد (Vurukonda et al., 2016).

مخزن‌های فتوسنتزی (کپسول و دانه)

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰۰ دانه مربوط به تیمار آبیاری کامل (آبیاری در زمان ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به همراه استفاده ۱۰۰ درصدی از کود شیمیایی و کاربرد توأم میکوریزا و آزوسپیریوم در منطقه تهران (دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک) به ترتیب برابر با ۱۳/۷، ۶۱۴۵ و ۰/۴۴۱ گرم بود، درحالی‌که حداقل مقدار آن‌ها به ترتیب برابر با ۶/۷۱، ۲۸۸۴ و ۰/۱۰۲ گرم در تیمار خشکی شدید و عدم استفاده از کودهای شیمیایی و بیولوژیکی در منطقه ورامین (دارای آب‌وهوای خشک) به دست آمد (جدول ۵ و ۶). در تمامی تیمارها در شرایط تنش خشکی (آبیاری در زمان ۳۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) استفاده از کودهای بیولوژیک و شیمیایی (اصلی و برهمکنش) سبب افزایش میزان تعداد کپسول بوته (به ترتیب برابر با ۱۵ و ۱۰ درصد)، تعداد دانه بوته (به ترتیب برابر با ۱۷ و ۹ درصد) و وزن ۱۰۰۰ دانه (به ترتیب برابر با ۶ و ۴ درصد) شد (جدول ۵ و ۶). تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰۰ دانه در حقیقت ظرفیت و تعداد مخزن یک گیاه را تعیین نموده و در صورت افزایش آن‌ها، گیاه دارای مخزن بیشتری برای دریافت مواد فتوسنتزی خواهد بود و در نتیجه عملکرد گیاه افزایش پیدا خواهد کرد (Liu et al., 2015; Zegaoui et al., 2017; Mouradi et al., 2016). گزارش‌های متعددی نشان از کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش خشکی به دلیل افزایش رادیکال‌های آزاد در گیاه و تخریب سیستم فتوسنتزی است (Liu et al., 2015; Zegaoui et al., 2017; Mouradi et al., 2016). در ارتباط با همین موضوع نتایج محققان نشان داده است که کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش خشکی سبب کاهش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰۰ دانه در گیاهان مختلف گردیده است (Baghbani-Arani et al., 2017; Boomsma and Vyn, 2008; Mouradi et al., 2016; Abdalla et al., 2007; Ahmed et al., 2009).

جدول ۵. برهمکنش رژیم آبیاری (IR) × کود شیمیایی (CF) × میکوریزا (M) × آزوسپیریلوم (Az) × مکان طرح (F) تهران (T) و ورامین (V) بر برخی اجزای عملکرد گل مغربی

Table 5. Irrigation regime (IR) × chemical fertilizers (CF) × mycorrhizal fungi (M) × Azospirillum (Az) × field locations (F) interaction on component yield in evening primrose.

تیمارها				تعداد شاخه جانبی		تعداد کپسول بوته		تعداد دانه بوته	
Treatments				Branches per plant		Capsules per plant		Seeds per plant	
IR	CF	M	Az	تهران Tehran	ورامین Varamin	تهران Tehran	ورامین Varamin	تهران Tehran	ورامین Varamin
SWD (30% FC)	CF 0	-M	-Az	7.0 ^t	6.7 ^u	7.3 ^{jk}	6.7 ^l	4493 ^y	2884 ^z
			+Az	7.0 ^t	7.3 ^s	7.3 ^{jk}	6.7 ^l	5417 ^{xy}	3752 ^{yz}
		+M	-Az	7.7 ^r	7.3 ^s	7.3 ^{jk}	7.0 ^k	5897 ^{xy}	3770 ^{yz}
			+Az	7.7 ^r	7.7 ^r	7.7 ^j	7.3 ^{jk}	6201 ^{wx}	4982 ^{xy}
	CF 50%	-M	-Az	8.0 ^q	7.7 ^r	8.0 ^{ij}	7.3 ^{jk}	6464 ^{wx}	5145 ^{xy}
			+Az	8.3 ^p	7.7 ^r	8.0 ^{ij}	7.7 ^j	6708 ^{wx}	6505 ^{wx}
		+M	-Az	8.3 ^p	8.0 ^q	8.3 ⁱ	7.7 ^j	8151 ^{vw}	6917 ^{wx}
			+Az	9.0 ⁿ	8.3 ^p	8.3 ⁱ	8.0 ^{ij}	8381 ^v	7154 ^w
	CF 100%	-M	-Az	9.0 ⁿ	8.3 ^p	8.7 ^{hi}	8.0 ^{ij}	10201 ^t	7164 ^w
			+Az	9.0 ⁿ	8.7 ^o	9.0 ^h	8.3 ⁱ	10357 ^t	8082 ^{vw}
		+M	-Az	10.0 ^k	8.7 ^o	9.0 ^h	8.3 ⁱ	12866 ^f	8316 ^v
			+Az	10.0 ^k	8.7 ^o	9.0 ^h	8.7 ^{hi}	12945 ^f	8321 ^v
MWD (40% FC)	CF 0	-M	-Az	10.0 ^k	9.0 ⁿ	9.0 ^h	8.7 ^{hi}	13723 ^q	9889 ^u
			+Az	10.0 ^k	9.0 ⁿ	9.3 ^{gh}	9.0 ^h	13928 ^p	10912 ^t
		+M	-Az	10.0 ^k	9.0 ⁿ	9.7 ^g	9.0 ^h	13979 ^p	11149 ^s
			+Az	10.0 ^k	9.0 ⁿ	9.7 ^g	9.3 ^{gh}	15149 ⁿ	12612 ^r
	CF 50%	-M	-Az	10.3 ^j	9.0 ⁿ	9.7 ^g	9.7 ^g	15794 ⁿ	12981 ^r
			+Az	10.3 ^j	9.3 ^m	9.7 ^g	9.7 ^g	16380 ^{mn}	14029 ^o
		+M	-Az	10.3 ^j	9.3 ^m	10.0 ^{fg}	9.7 ^g	18301 ^{lm}	14489 ^o
			+Az	10.7 ⁱ	9.7 ^l	10.0 ^{fg}	10.0 ^{fg}	18702 ^l	16202 ^{mn}
	CF 100%	-M	-Az	11.0 ^h	9.7 ^l	10.0 ^{fg}	10.0 ^{fg}	22200 ^j	17770 ^m
			+Az	11.0 ^h	9.7 ^l	10.3 ^f	10.0 ^{fg}	22261 ^j	18736 ^l
		+M	-Az	11.3 ^g	9.7 ^l	10.3 ^f	10.0 ^{fg}	23152 ^{ij}	19460 ^k
			+Az	11.7 ^f	10.3 ^j	10.7 ^{ef}	10.0 ^{fg}	24904 ⁱ	21438 ^j
CF 0	-M	-Az	12.0 ^e	10.3 ^j	10.7 ^{ef}	10.7 ^{ef}	26657 ^{hi}	23030 ^{ij}	
		+Az	12.0 ^e	10.7 ⁱ	11.0 ^e	10.7 ^{ef}	27305 ^h	23537 ^{ij}	
	+M	-Az	12.0 ^e	10.7 ⁱ	11.3 ^{de}	11.0 ^e	28721 ^{gh}	24053 ⁱ	
		+Az	12.3 ^d	10.7 ⁱ	11.3 ^{de}	11.0 ^e	29773 ^e	26068 ^{hi}	
CF 50%	-M	-Az	12.3 ^d	11.0 ^h	11.7 ^d	11.3 ^{de}	30673 ^f	27146 ^h	
		+Az	12.7 ^c	11.3 ^g	11.7 ^d	11.7 ^d	36276 ^{de}	28315 ^{gh}	
	+M	-Az	12.7 ^c	11.3 ^g	12.0 ^{cd}	11.7 ^d	36580 ^{de}	28992 ^{gh}	
		+Az	13.3 ^a	11.7 ^f	12.3 ^c	12.0 ^{cd}	38195 ^d	31147 ^{ef}	
CF 100%	-M	-Az	13.3 ^{ab}	13.0 ^b	12.3 ^c	12.3 ^c	41204 ^c	31269 ^e	
		+Az	13.3 ^{ab}	13.0 ^b	12.3 ^c	12.3 ^c	46546 ^{bc}	31805 ^e	
	+M	-Az	13.3 ^{ab}	13.0 ^b	12.7 ^{bc}	13.0 ^b	48952 ^b	36567 ^{de}	
		+Az	13.8 ^a	13.1 ^b	13.7 ^a	13.3 ^{ab}	61450 ^a	47302 ^{bc}	

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

SWD، MWD و WI: به ترتیب آبیاری در زمان ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد از ظرفیت زراعی؛ +Az و -Az: به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد آزوسپیریلوم؛ CF0، CF50% و CF100%: به ترتیب به معنی عدم استفاده، و استفاده ۵۰ و ۱۰۰٪ نیترژن + فسفر؛ +M و -M: به ترتیب تلقیح و عدم تلقیح میکوریزا

Means in each trait followed by similar letter are not-significantly different at 5% probability level using LSD.

IR: irrigation regime (SWD, MWD and WI: 30, 40 and 50% of field capacity); CF: chemical fertilizers (CF 0: no-application, CF 50 and 100%: 50 and 100 percent of N + P); M: mycorrhizal (+M: inoculated and -M: non-inoculated); Az: Azospirillum (+Az: inoculated and -Az: non-inoculated) and F: Field (T: Tehran and V: Varamin regions).

فتوسنتزی توسط رادیکال‌های آزاد، سبب کاهش رشد گیاه می‌گردد (Baghbani- Arani et al., 2017). همچنین

در مجموع تنش کم‌آبی مخصوصاً در مناطق خشک (مانند ورامین) و نیمه‌خشک (مانند تهران)، به دلیل تخریب سیستم

افزایش جذب آب و مواد غذایی در گیاهان ریحان، گندم، مورد، لوبیا و ذرت افزایش می‌یابد (Elhindi et al., 2017; Vurukonda et al., 2016; Caravaca et al., 2005; Merlos et al., 2016).

از دلایل کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه تحت تنش خشکی می‌توان به کاهش میزان فتوسنتز، کاهش جذب دی‌اکسید کربن، افزایش تعرق و کاهش جذب آب، افزایش دمای برگ به دلیل کاهش تعرق و کاهش جذب مواد غذایی را ذکر نمود (Mouradi et al., 2016; Abdalla et al., 2009; Ahmed et al., 2007). این در حالی است که مصرف کود شیمیایی بر فعل‌وانفعالات بیوشیمیایی، فتوسنتز، افزایش طول دوره رویش و تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی (بیولوژیک) و عملکرد دانه بسیار مؤثر است و افزایش عملکرد با استفاده از مصرف کودهای شیمیایی بسیار بدیهی است (Baghbani-Arani et al., 2017). عملکرد بیولوژیک و دانه حاصل مجموعه‌ای رویدادهای مورفوفیزیولوژیکی گیاه است که این رابطه به حاصلخیزی خاک بسیار وابسته است (Inanloofar et al., 2013). در همین زمینه کاربرد کودهای بیولوژیک (میکوریزا و آزوسپریلوم) و شیمیایی (نیتروژن + فسفر) باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌گردد (Elhindi et al., 2017; Vurukonda et al., 2016; Caravaca et al., 2005; Merlos et al., 2016). در نتیجه افزایش میزان عملکرد بیولوژیک و دانه دور از انتظار نیست، نتایج دیگر محققان در گیاه بابونه آلمانی نیز مشابه با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق است (Pirzad et al., 2011; Abdalla et al., 2007; Chu et al., 2014). همچنین محققین مختلفی به اثر مثبت قارچ مایکوریزا به‌طور مستقیم (در افزایش فراهمی آب) و غیرمستقیم (بهبود وضعیت تغذیه‌ای، تنظیم هورمونی و اسمزی روزه‌ها) در تحمل تنش خشکی در گیاهان مختلفی اشاره داشتند (Rani et al., 2017; Inanloofar et al., 2013). استفاده از کودهای بیولوژیکی سبب افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش خشکی شده و این موضوع سبب افزایش میزان عملکرد بیولوژیک و دانه گیاه گل مغربی شد.

نتیجه‌گیری نهایی

استفاده از کودهای شیمیایی (ترکیب کودهای نیتروژن «اوره» + فسفر «سوپر فسفات تریپل») و بیولوژیک مانند

از آنجایی که تحرک مواد غذایی لازم برای رشد گیاه در شرایط خشکی خاک بسیار پایین است، میکوریزا آربوسکولار می‌تواند تأثیر بسیار زیادی روی رشد و نمو گیاه در شرایط خشکی خاک داشته باشد (Boomsma and Vyn, 2008). میکوریزا به دلیل افزایش سطح جذب ریشه از خاک از طریق ایجاد هیف (تعداد و حجم)، سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی از خاک به‌وسیله گیاهان شده و به این طریق سبب افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه افزایش تعداد شاخه‌های جانبی، وزن ۱۰۰۰ دانه، تعداد دانه و عملکرد بسیاری از گیاهان (گندم، گوجه و کلزا) می‌گردند (Rillig, 2004). استفاده از کودهای بیولوژیکی سبب افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش خشکی شده و این موضوع سبب افزایش ظرفیت و تعداد مخزن شد.

عملکرد بیولوژیک و دانه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک و دانه در شرایط آبیاری کامل (بدون تنش)، کاربرد کامل کود شیمیایی (۱۰۰ درصد موردنیاز)، تلقیح میکوریزا و کاربرد آزوسپریلوم به ترتیب برابر با ۳۱۸۲۷ و ۵۵۵۲ کیلوگرم در هکتار در منطقه تهران (دارای آب‌وهوای نیمه-خشک) به دست آمد (جدول ۶). این در حالی بود که کمترین میزان آن به ترتیب برابر با ۱۲۶۲۵ و ۱۹۲۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار خشکی شدید (آبیاری در زمان ۳۰ درصد از ظرفیت زراعی) و عدم استفاده از کودهای شیمیایی و بیولوژیکی (آزوسپریلوم و میکوریزا) در منطقه ورامین (دارای آب‌وهوای خشک) به دست آمد (جدول ۶).

نتایج حاکی از آن است که میزان عملکرد بیولوژیک و دانه در منطقه تهران در شرایط بهینه رشد (عدم وجود تنش خشکی و کاربرد کودهای شیمیایی و بیولوژیک) نسبت به شرایط غیر بهینه رشد (وجود تنش شدید خشکی و عدم کاربرد کودهای شیمیایی و بیولوژیک) به ترتیب به میزان ۶۰ و ۶۵ درصد افزایش یافته است. گزارش گردیده است که تنش خشکی به دلیل کاهش توسعه سلولی، کاهش جذب آب و مواد غذایی باعث کاهش رشد و کاهش وزن خشک شاخساره و عملکرد دانه می‌گردد (Liu et al., 2015; Zegaoui et al., 2017; Mouradi et al., 2016). همچنین گزارش شده است که میزان عملکرد بیولوژیک و دانه در همزیستی با قارچ میکوریزا، کاربرد آزوسپریلوم و کودهای شیمیایی به دلیل

جدول ۶. برهمکنش رژیم آبیاری (IR) × کود شیمیایی (CF) × میکوریزا (M) × آزوسپیریوم (Az) × مکان طرح (F) تهران (T) و ورامین (V) در عملکرد و اجزای عملکرد گل مغربی

Table 6. Irrigation regime (IR) × chemical fertilizers (CF) × mycorrhizal fungi (M) × Azospirillum (Az) × field locations (F) interaction on yield and component yield in evening primrose.

تیمارها Treatments			وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) 1000 grain weight gr		عملکرد بیولوژیک Biological yield kg ha ⁻¹		عملکرد بذر Seed yield kg ha ⁻¹		
IR	CF	M	Az	تهران Tehran	ورامین Varamin	تهران Tehran	ورامین Varamin	تهران Tehran	ورامین Varamin
SWD (30% FC)	CF 0	-M	-Az	0.118 ⁿ	0.102 ^{no}	13050 ^{x-z}	12656 ^z	2128 ^{x-z}	1920 ^z
			+Az	0.134 ^m	0.118 ⁿ	13685 ^{s-z}	13383 ^{x-z}	2298 ^{s-z}	2068 ^{x-z}
		+M	-Az	0.137 ^m	0.134 ^m	14519 ^{t-z}	13765 ^{x-z}	2274 ^{t-z}	2033 ^{x-z}
			+Az	0.168 ^k	0.136 ^m	18217 ^{n-z}	14708 ^{v-z}	2745 ^{n-z}	2227 ^{v-z}
	CF 50%	-M	-Az	0.172 ^k	0.148 ^{lm}	12707 ^{w-z}	12357 ^{yz}	2174 ^{w-z}	1962 ^z
			+Az	0.176 ^k	0.153 ^l	13172 ^{s-z}	13179	2358 ^{s-z}	2225 ^{v-z}
		+M	-Az	0.181 ^{jk}	0.161 ^{kl}	13675 ^{s-z}	13334 ^{w-z}	2355 ^{s-z}	2151 ^{w-z}
			+Az	0.183 ^{jk}	0.171 ^k	16306 ^{k-z}	13842 ^{s-z}	2934 ^{k-z}	2338 ^{s-z}
	CF 100%	-M	-Az	0.188 ^l	0.175 ^k	12483 ^{v-z}	12163 ^{x-z}	2235 ^{v-z}	2021 ^{x-z}
			+Az	0.190 ^l	0.182 ^{jk}	12832 ^{q-z}	12421 ^{u-z}	2457 ^{q-z}	2258 ^{u-z}
		+M	-Az	0.203 ^{ij}	0.188 ^l	13262 ^{q-z}	12713 ^{v-z}	2506 ^{q-z}	2228 ^{v-z}
			+Az	0.209 ⁱ	0.190 ^j	15245 ^{h-x}	13238 ^{q-z}	3267 ^{h-x}	2495 ^{q-z}
MWD (40% FC)	CF 0	-M	-Az	0.214 ⁱ	0.195 ^j	14066 ^{q-z}	13500 ^{r-z}	2490 ^{q-z}	2382 ^{r-z}
			+Az	0.220 ^{hi}	0.207 ^j	15583 ^{m-z}	14645 ^{n-z}	2862 ^{m-z}	2690 ^{n-z}
		+M	-Az	0.223 ^{hi}	0.210 ⁱ	16673 ^{k-z}	15776 ^{n-z}	2957 ^{k-z}	2797 ^{n-z}
			+Az	0.231 ^h	0.210 ⁱ	21530 ^{e-n}	19928 ^{e-r}	3919 ^{e-n}	3636 ^{e-r}
	CF 50%	-M	-Az	0.241 ^{gh}	0.217 ^{hi}	14833 ^{o-z}	14215 ^{p-z}	2631 ^{o-z}	2518 ^{p-z}
			+Az	0.245 ^{gh}	0.221 ^{hi}	15658 ^{m-z}	15254 ^{n-z}	2872 ^{m-z}	2802 ^{n-z}
		+M	-Az	0.249 ^{gh}	0.223 ^{hi}	19116 ^{g-w}	17392 ^{j-z}	3396 ^{g-w}	3092 ^{j-z}
			+Az	0.266 ^{fg}	0.241 ^{gh}	24277 ^{a-i}	23072 ^{c-k}	4394 ^{a-i}	4186 ^{c-k}
	CF 100%	-M	-Az	0.279 ^f	0.241 ^{gh}	15319 ^{n-z}	15207 ^{n-z}	2719 ^{n-z}	2703 ^{n-z}
			+Az	0.281 ^f	0.244 ^{gh}	17515 ^{h-y}	16260 ^{k-z}	3210 ^{h-y}	2990 ^{k-z}
		+M	-Az	0.286 ^{ef}	0.245 ^{gh}	21196 ^{e-p}	19797 ^{f-u}	3768 ^{e-p}	3514 ^{f-u}
			+Az	0.294 ^{ef}	0.251 ^g	29737 ^{a-c}	25545 ^{a-g}	5394 ^{a-c}	4609 ^{a-g}
WI (50% FC)	CF 0	-M	-Az	0.300 ^e	0.262 ^{fg}	15852 ^{l-z}	15028 ^{n-z}	2905 ^{l-z}	2705 ^{n-z}
			+Az	0.314 ^{de}	0.266 ^{fg}	19739 ^{e-q}	17139 ^y	3701 ^{e-q}	3189 ^y
		+M	-Az	0.318 ^{de}	0.269 ^{fg}	23030 ^{c-k}	19095 ^{g-v}	4187 ^{c-k}	3441 ^{g-v}
			+Az	0.336 ^d	0.269 ^{fg}	29656 ^{ab}	20608 ^{e-o}	5448 ^{ab}	3813 ^{e-o}
	CF 50%	-M	-Az	0.337 ^d	0.280 ^f	19457 ^{f-s}	17527 ^{r-z}	3550 ^{f-s}	3155 ^{r-z}
			+Az	0.361 ^{cd}	0.287 ^{ef}	21131 ^{e-n}	18798 ^{f-v}	3944 ^{e-n}	3480 ^{f-v}
		+M	-Az	0.379 ^c	0.290 ^{ef}	26629 ^{a-e}	21125 ^{e-o}	4819 ^{a-e}	3811 ^{e-o}
			+Az	0.379 ^c	0.301 ^e	28886 ^{a-d}	23232 ^{b-j}	5303 ^{a-d}	4273 ^{b-j}
	CF 100%	-M	-Az	0.407 ^{bc}	0.315 ^{de}	22790 ^{d-l}	19558 ^{f-t}	4133 ^{d-l}	3519 ^{f-t}
			+Az	0.413 ^b	0.326 ^{de}	23935 ^{a-h}	22245 ^{d-m}	4452 ^{a-h}	4111 ^{d-m}
		+M	-Az	0.419 ^b	0.368 ^c	28786 ^{a-d}	26073 ^{a-f}	5255 ^{a-d}	4703 ^{a-f}
			+Az	0.441 ^a	0.406 ^{bc}	31827 ^a	29716 ^{ab}	5552 ^a	5501 ^{ab}

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

SWD, MWD و WI: به ترتیب آبیاری در زمان ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد از ظرفیت زراعی؛ +Az و -Az: به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد آزوسپیریوم؛ CF0, CF50% و CF100%: به ترتیب به معنی عدم استفاده، و استفاده ۵۰ و ۱۰۰٪ نیترژن + فسفر؛ +M و -M: به ترتیب تلقیح و عدم تلقیح میکوریزا

Means in each trait followed by similar letter are not-significantly different at 5% probability level using LSD.

IR: irrigation regime (SWD, MWD and WI: 30, 40 and 50% of field capacity); CF: chemical fertilizers (CF 0: no-application, CF 50 and 100%: 50 and 100 percent of N + P); M: mycorrhizal (+M: inoculated and -M: non-inoculated); Az: Azospirillum (+Az: inoculated and -Az: non-inoculated) and F: Field (T: Tehran and V: Varamin regions).

شاخه جانبی در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن ۱۰۰۰ دانه) این گیاه نیز شد. منطقه ورامین به دلیل دارا بودن شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک (میانگین بارش در تهران < ورامین و دما در ورامین < تهران) نسبت

رابطه میکوریزایی و آزوسپیریوم در تنش خشکی و کم‌آبی باعث بهبود رشد گیاه گل مغربی در مناطق تهران (نیمه-خشک) و ورامین (خشک) گردیده است، علاوه بر این موضوع باعث افزایش میزان عملکرد و صفات اجزای عملکرد (تعداد

عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گل مغربی در شرایط تنش خشکی (آبیاری در زمان ۳۰ و ۴۰ درصد از ظرفیت زراعی) و آبیاری معمولی (آبیاری در زمان ۵۰ درصد از ظرفیت زراعی) شد.

به منطقه تهران (نیمه‌خشک) در تیمارهای تنش خشکی (آبیاری در زمان ۳۰ و ۴۰ درصد از ظرفیت زراعی) و آبیاری معمولی (آبیاری در زمان ۵۰ درصد از ظرفیت زراعی) دارای عملکرد بیولوژیک و دانه کمتری بود. استفاده از رابطه میکوریزایی به دلیل بهبود روابط آبی در گیاه باعث افزایش

منابع

- Abdalla, M.M., 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., 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.W.A., Elhindi, K.M., 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using Arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 18, 93-98.
- Auge, R.M., 2001. Water relation, drought and VA mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 11, 3-42.
- Baghbani-Arania, A., Modarres-Sanavya, S.A.M., Akbar-Boojarb, M.M., Mokhtassi-Bidgolia, 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.
- Boomsma, C.R., Vyn, T.J., 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*. 108, 14-31.
- Caravaca, F., Alguacil, M.M., Hernandez, J.A., Roldan, 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., Zhang, J., 2014. Reprint of "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., 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.
- Emam, A.R., Zahtabian, G. 2008. Investigating the factors affecting land destruction in Varamin plain. *Iranian Journal of Natural Resources*. 59, 289-297. [In Persian with English Summary].
- Fieldsend, A., Morison, J.I.L., 2001. Contrasting growth and dry matter partitioning in winter and spring evening primrose crops (*Oenothera* spp.). *Field Crops Research*. 68, 9-20.
- Ghasemnezhad, A., 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.
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H., Farmanbar, E., 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research*. 126, 193-202.
- Inanloofar, M., Omid, H., Pazoki, Morphological, A., 2013. Agronomical changes and oil content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and biological / chemical fertilizer of nitrogen. *Journal of Medicinal Plants*. 4(48), 170-184. [In Persian with English Summary].
- Izzo, R., Navari Izzo, F., Quartacci, M.F., 1991. Growth and mineral absorption in maize seedlings as affected by increasing NaCl concentrations. *Journal of Plant Nutrition*. 14, 687-699.

- Julia, E., Guillermo, G., Maroniche, C.C., Suárez-Rodríguez, R., Augusto-Ramirez-Trujillo, J., María, D., 2017. In vitro PGPR properties and osmotic tolerance of different *Azospirillum* native strains and their effects on growth of maize under drought stress. *Microbiological Research*. 202, 21-29.
- Liu, C., Yang, Z., 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., 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.
- Mouradi, M., Bouizgaren, A., Farissi, M., Latrach, L., Qaddoury, A., 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.
- Pirzad, A., Shakiba, M.R., Zehtab-Salmasi, S., Mohammadi, S.A., Darvishzadeh, R., 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.
- Rani, B., Madan, Sh., Sharma, K.D., Pooja, Berwal, M.K., Ashwani Kumar, A., 2017. Effect of mycorrhizal colonization on nitrogen and phosphorous metabolism. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(10), 916-929.
- Rillig, M.C. 2004. *Arbuscular mycorrhizae and Terrestrial Ecosystem Processes*. University of Montana, U.S.A.
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., 2015. Afforestation impact of *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* on rainfall interception in a semiarid climate zone. *Journal of Forest and Wood Products*. 68, 641-653. [In Persian with English Summary].
- Sheng, Q., Zou, Y.N., 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.
- Vurukonda, S.S.K.p., Vardharajula, S., Shrivastava, M., SkZ, A., 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*. 184, 13-24.
- Yasari, E., Patwardhan, A.M. 2007. Effects of (*Azotobacter* and *Azospirillum*) inoculants and chemical fertilizers on growth and productivity of Canola (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*. 6, 77-82.
- Zegaoui, Z., Planchais, S., Cabassa, C., Djebbar, R., Belbachir, O.A., 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.