نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۸۴-۱۶۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 168-184

اثر کود نانو کلات روی و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش خشکی

اسماعیل رضائی چیانه[1*]- سرور خرم‌دل[2]- آرزو مولودی[3]- امیر رحیمی[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر کود نانو کلات روی و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی، شهرستان نقده در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. فاکتور اصلی شامل چهار سطح خشکی (آبیاری بعد از ۶۰، ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و فاکتور فرعی شامل چهار سطح کودی (عدم مصرف کود، قارچ مایکوریزا (*Glmus intraradices*)، نانو کود روی و ترکیب قارچ مایکوریزا + نانو کود روی) بود. صفات مورد بررسی شامل تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، درصد روغن، محتوی پرولین و قندهای محلول گلرنگ بود. نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی کاربرد منابع کودی اثرات نامطلوب ناشی از تنش خشکی را تخفیف داد، به‌طوری‌که در تمام سطوح آبیاری مصرف جداگانه نانو کود روی، مایکوریزا و کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی باعث افزایش صفات مورد بررسی گردید. بیشترین عملکرد دانه از تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با کاربرد تلفیقی مایکوریزا + نانو کود روی (۲۵۸۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن از تیمار آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در شرایط عدم مصرف کود (۱۸۳۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. اگرچه درصد روغن با افزایش تنش خشکی کاهش یافت، اما کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی درصد روغن را به‌طور معنی‌داری (۱۱ درصد) نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش داد. با افزایش تنش خشکی و کاربرد نانو کود روی و مایکوریزا میزان قندهای محلول و پرولین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که تلقیح با مایکوریزا در شرایط کمبود آب، می‌تواند با توسعه سیستم ریشه‌ای و افزایش سطح جذب ریشه، جذب آب و عناصر غذایی را توسط گیاه افزایش داده و سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر کم‌آبی شود، از طرف دیگر، با توجه به نقش عنصر روی در گیاه، وجود مقدار کافی از این عنصر در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند از طریق تنظیم سازگاری، موجب تخفیف اثرات تنش خشکی شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، فناوری نانو، عملکرد دانه، قندهای محلول، کود زیستی

مقدمه

گلرنگ با نام علمی *Carthamus tinctorius* L. از تیره کاسنی[4] به‌عنوان یک گیاه دانه روغنی در مناطق مختلف جهان مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. این گیاه بومی ایران بوده و به‌دلیل ویژگی‌های مطلوب و خاص نظیر مقاومت نسبتاً زیاد آن به تنش‌های محیطی نظیر خشکی، شوری، گرما و سرمای زمستانه، داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه، استفاده‌های دارویی و غذایی از گل‌های آن، تولید روغن نباتی با کیفیت بالا (به‌دلیل بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع خصوصاً لینولئیک و اولئیک) و تولید کنجاله به‌عنوان مکمل غذایی برای دام از اهمیت خاصی برای تأمین دانه‌های روغنی مورد نیاز کشور برخوردار است (Bagheri *et al*., 2012; Pasban Eslam, 2011).

یکی از مهمترین محدودیت‌های تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمبود آب می‌باشد. جهت کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی بر گیاه راه‌کارهای گوناگونی از جمله مدیریت مصرف آب و

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- گروه گیاهان دارویی مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.49876
4- Asteraceae

افزایش توانایی گیاه به کم‌آبی پیشنهاد شده است (Galle *et al*., 2010). این راه‌کارها بسته به ویژگی‌های خاک، نوع گیاه و مراحل رشد آن متفاوت است. گیاهان در مواجه با تنش‌های محیطی، با تولید و ذخیره مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی که بیشتر شامل اسیدهای آمینه، قندها و برخی یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها هستند، بردباری و تحمل خود را در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهند (Good and Zaplachiniski, 1994).

پرولین یکی از اسیدهای آمینه فعال در پدیده‌های تنظیم اسمزی می‌باشد که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به‌سزایی دارد. این اسید آمینه در برابر تنش‌های اکسیداتیو مقاومت کرده و کم ترین اثر بازدارندگی را بر رشد سلول‌ها در بین تمام اسید آمینه‌ها دارد (Kumar and Spencer, 1992). در برخی از گیاهان در مراحل اولیه تنش کم‌آبی چندین اسید آمینه افزایش می‌یابد که با ادامه کم‌آبی فقط اسیدآمینه پرولین بیشتر تجمع و ذخیره می‌شود (Rajinder, 1987).

بررسی‌های نینگانور و همکاران (Ninganoor *et al.,* 1995) در گلرنگ نشان داد که با افزایش سن گیاه تجمع پرولین بیشتر شده و این افزایش با کاهش محتوای نسبی رطوبت گیاه و رطوبت خاک همبستگی دارد؛ به طوری‌که بروز تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار محتوی پرولین برگ‌ها شد. بنا به گزارش برخی از محققان غلظت پرولین برگ گلرنگ ممکن است در شرایط کمبود آب دو تا چهار برابر افزایش یابد (Maghami *et al*., 2014). افزایش غلظت پرولین در برگ کنجد (*Sesamum indicum* L.) (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011) و ریشه چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در اثر تنش کمبود آب نیز گزارش شده است (Monreal *et al*., 2006). قندهای محلول نیز به‌عنوان یکی از مواد اسمزی نقش چشمگیری در ثبات غشاهای سلولی و حفظ‌کننده تورژسانس سلول‌ها دارند. در حقیقت، در گیاهانی که قندهای محلول در پاسخ به تنش خشکی تجمع می‌یابند، تنظیم اسمزی بهتر صورت می‌گیرد (Slama *et al*., 2007). کدخدائی و احسان‌زاده (Kadkhodaei and Ehsanzade, 2011) گزارش کردند که تنش خشکی منجر به افزایش میزان قندهای محلول در گیاه بزرک (*Linum ustatissimum*) شد.

همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا جهت بهبود روابط آبی گیاه میزبان از جمله راه‌کارهایی است که طی دهه‌های اخیر به‌طور ویژه‌ای مورد توجه برخی محققان قرار گرفته است (Smith and Read, 2008). قارچ‌های گلوموس در بین میکروارگانیسم‌هایی که محیط اطراف ریشه را اشغال می‌کنند، منحصر به‌فرد بوده و با ایجاد رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی که اصطلاحاً همزیستی مایکوریزایی گفته می‌شود، موجب افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف همچون روی و مس، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا شده و سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012; Sharma, 2002). امیدی و همکاران (Omidi *et al*., 2009) بیان کردند که همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا به‌واسطه تولید هورمون‌های رشد به‌ویژه جیبرلین، باعث افزایش معنی‌دار تعداد برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی، و عملکرد گیاه گلرنگ گردید. چو و همکاران(Cho *et al*., 2006) در طی آزمایشی دریافتند که همزیستی مایکوریزایی سبب افزایش مقاومت گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) نسبت به بروز تنش‌های خشکی و شوری شد.

یکی از اثرات مهم تنش خشکی بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است. با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف از طریق محلول‌پاشی، می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید (Paygzar *et al.,* 2009). امروزه با بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانوکودها، فرصت‌های جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رسانیدن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست، پیش روی انسان گشوده شده است (Pandey *et al*., 2010). وجود عنصر روی برای تحریک فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان امری ضروری است؛ به‌طوری‌که اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد، تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی در گیاهان رخ خواهد داد (Baybordi, 2006). عنصر روی با فعال‌سازی آنزیم‌های ضروری، تولید هورمون های رشد از جمله هورمون اکسین، مؤثر بر افزایش تولید کلروفیل، تنفس، تنظیم رشد و تسریع بلوغ، مؤثر بر تشکیل کربوهیدرات‌ها، افزایش پروتئین، تحریک تشکیل بذر، کمک به جذب بیشتر آب، افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و در نهایت، منجر به بهبود عملکرد محصولات زراعی می‌شود (Baybordi, 2006; Kafi *et al*., 2009; Marschner, 1995; Pandey *et al*., 2010).

محققان دریافتند که به کار بردن عنصر روی به دو روش تغذیه برگی و اضافه کردن به خاک، موجب افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، شاخص برداشت، اجزای عملکرد و عملکرد دانه کنجد گردید (Saeedi, 2008). نتایج تحقیقات پای‌گذار و همکاران (Paygzar *et al*., 2009) نشان داد که بالاترین عملکرد اقتصادی ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) از تیمار عدم تنش (آبیاری مطلوب) همراه با محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز حاصل شد. همچنین پندی (Pandey *et al*., 2010) در آزمایشی بر روی نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش کرد که کاربرد اکسید روی به شکل نانو ذرات (با قطر ۳۰-۲۰ نانومتر) تأثیر بیشتری در افزایش رشد گیاه نسبت به شکل معمول آن داشت.

در حال حاضر، با توجه به کاهش شدید منابع آب زیرزمینی و اُفت

سطح آنها، کاهش بارندگی‌ها و کمبود آب در اکثر مناطق کشور لزوم بازنگری در مدیریت محصولات مورد کشت ضروری به‌نظر می‌رسد. بدین ترتیب، نظر به اهمیت نانو کودها و تلقیح با قارچ‌های همزیست در بهبود عملکرد محصولات زراعی (Omidi *et al*., 2014; Sharma, 2002)و حفظ محیط زیست و نقش مؤثر عنصر روی و قارچ مایکوریزا در کاهش اثرات منفی تنش خشکی (Saeidi Abouеshaghi *et al*., 2014)، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کود نانو روی و همزیستی با قارچ مایکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی و بررسی برخی واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه دانه روغنی گلرنگ تحت تأثیر سطوح تنش خشکی در شرایط آب و هوایی نقده به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی، شهرستان نقده با طول جغرافیایی °۴۵ و ´۲۴ و عرض جغرافیایی °۳۶ و ´۵۷ و ارتفاع ۱۳۲۸ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. متوسط دما و میانگین بارندگی سالیانه در طی یک دوره ده ساله در این منطقه به ترتیب برابر ۱۲/۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۲۳ میلی‌متر می‌باشد. پیش از اجرای آزمایش، از خاک زمین مورد نظر نمونه‌برداری تصادفی جهت تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی انجام گرفت که نتایج حاصل در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی $EC \times 10^3$ ($dS\ m^{-1}$)	نیتروژن کل %T. N	درصد کربن آلی %O.C	فسفر قابل دسترس P available ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس K available ($mg\ kg^{-1}$)
سیلتی رس Silty clay	7.7	0.84	0.95	1.11	10.1	356

در این آزمایش، تنش خشکی در چهار سطح (آبیاری بعد از ۶۰، ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی و نوع کود در چهار سطح (قارچ مایکوریزا، نانو کود روی، ترکیب قارچ مایکوریزا+ نانو کود روی و عدم مصرف کود) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. اندازه‌گیری‌های روزانه میزان تبخیر با نصب تشتک تبخیر کلاس A در مزرعه انجام شد و آبیاری هر تیمار پس از رسیدن میزان تبخیر به مقدار مورد نظر صورت گرفت. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد آزمایش (نقده) آبیاری در طول فصل رشد به طور متوسط برای سطوح ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک هر پنج تا هفت روز یکبار، ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک هر نه تا ۱۱ روز یکبار، ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک هر ۱۴ تا ۱۶ روز یکبار و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک هر ۱۸ تا ۲۰ روز یکبار صورت گرفت.

پس از عملیات آماده‌سازی زمین (شخم، دیسک و تسطیح)، کرت‌های آزمایشی شامل هشت ردیف کاشت به طول چهار متر، با فاصله بین ردیف ۴۰ و روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر ایجاد گردید. همچنین به منظور جلوگیری از نشت آب به کرت‌های مجاور و ممانعت از اختلاط اثر تیمارها، فاصله کرت‌های اصلی از یکدیگر ۱/۵ و فاصله بین دو بلوک، سه متر در نظر گرفته شد. بذر مورد استفاده گلرنگ از توده بومی اصفهان بود که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. در تاریخ ۲۰ فروردین ماه ۱۳۹۳، بذور گلرنگ در عمق سه سانتی‌متر خاک به‌صورت دستی کاشته شدند. خاک حاوی مایکوریزا *گلوموس اینترارادایسز*[1] (تهیه شده از کلینیک گیاه پزشکی ارگانیک، شهرستان اسد آباد-همدان) به میزان ۴۰ گرم به ازای هر بوته در هنگام کاشت زیر بذر قرار داده شد (هر گرم نمونه قارچ حاوی حدود ۳۰۰ اسپور زنده بود). همچنین، محلول‌پاشی نانو کلات روی بر اساس دستورالعمل توصیه شده شرکت سازنده (دانش بنیان صدور احرار شرق (خضراء)) با غلظت ۱/۵ در هزار در دو مرحله شروع ساقه‌دهی و شروع گلدهی انجام گرفت. نانو کود کلات روی حاوی ۱۲ درصد روی خالص کلات شده است. بر اساس توضیحات شرکت سازنده، در طراحی و سنتز نانو کود کلات روی از " فناوری نانو چیلیتینگ" بهره برده شده است که به صورت پودری و کاملاً محلول در آب بوده که به دلیل ساختار منحصر به فرد خود می‌تواند به راحتی از طریق خاک و برگ گیاه جذب شود. جهت جلوگیری از سوختگی برگ‌ها، محلول‌پاشی هنگام غروب آفتاب انجام شد. برای حذف اثرات محلول‌پاشی در شاهد، همزمان اقدام به آب‌پاشی آنها گردید.

کوددهی بر اساس آزمون خاک و در نظر گرفتن نیاز گیاه، به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در دو مرحله قبل از کاشت و مرحله ساقه رفتن به ردیف‌های گلرنگ به صورت نواری اضافه شد. به علت زیاد بودن مقدار پتاسیم قابل جذب قبل از شروع آزمایش، از کود پتاسیم استفاده نشد. تیمارهای آبیاری نیز بعد از استقرار کامل بوته‌ها اعمال گردید. علف‌های هرز در طول فصل رشد بنا به ضرورت در چندین

1- Glmus intraradices

مرحله از طریق وجین دستی کنترل شدند.

در پایان فصل رشد، هنگامی که رنگ بوته‌ها متمایل به زرد شده بود، ابتدا از هر کرت به‌طور تصادفی ۱۰ بوته انتخاب و اجزای عملکرد شامل تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد نهایی، دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه حذف و مابقی بوته‌ها برداشت و دانه‌های آنها جدا و تعیین گردید. برای تعیین عملکرد زیستی، پس از جدا نمودن بذور، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا ثابت ماندن وزن خشک درون آون قرار گرفتند و سپس همراه بذور توزین شدند. برای استخراج روغن، ابتدا نمونه‌های مورد آزمایش آسیاب و پودر شدند. از نمونه‌های آسیاب شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، بعد از ۲۴ ساعت به مقدار ۱۰ گرم وزن کرده و در داخل سوکسله با ۳۰۰ سی‌سی از محلول دی‌اتیل اتر قرار داده شدند و پس از شش ساعت حلال مورد نظر از روغن توسط روتاری جدا شد (Kafi and Rostami, 2007; Noroozi and Kazemeini, 2013).

در شروع مرحله گلدهی میزان قند محلول و میزان پرولین به روش زیر اندازه‌گیری شدند.

تعیین میزان قند محلول: میزان قندهای محلول گیاه با استفاده از روش فنل اسید سولفوریک اندازه‌گیری شد. در این روش به ۰/۱ گرم از بافت خشک گیاهی به‌طور جداگانه ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد اضافه و به مدت یک هفته در یخچال نگه‌داری شدند. هر روز نمونه‌ها به هم زده شدند تا قند محلول جدا گردند. پس از یک هفته از محلول رویی نمونه‌ها یک میلی‌لیتر برداشته و به حجم دو میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس یک میلی‌لیتر فنل پنج درصد و پنج میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به نمونه‌ها اضافه و توسط ورتکس به‌خوبی بهم زده شد. سپس لوله آزمایش به‌مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده شد و بعد از این مدت در دمای آزمایشگاه سرد گردید و سر انجام نیم ساعت به حال خود رها شد و پس از آن میزان جذب به وسیله اسپکتوفتومتر مدل UV 2100 در طول موج ۴۸۵ نانومتر خوانده و از محلول‌هایی با غلظت صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶،۷، ۸، ۹ و ۱۰ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر گلوکز برای تهیه منحنی استاندارد استفاده شد و با در دست داشتن وزن خشک، مقدار قند محلول بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه گردید (Irigoyen *et al*., 1992).

تعیین میزان پرولین: برای سنجش پرولین آزاد از روش بیتز و همکاران (Bates *et al*., 1973) استفاده شد. بدین ترتیب که ۰/۲ گرم از بافت گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد اسید سولفوسالسیک در هاون سائیده شده و محلول با کاغذ صافی واتمن صاف گردید. عصاره حاصل با استفاده از سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. آنگاه دو میلی‌لیتر از مایع رویی با دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین در درون لوله‌های درپوش مخلوط شده و به مدت یک ساعت در درون بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد جوشانیده شدند. بعد از این مدت جهت قطع انجام کلیه واکنش‌ها لوله‌های آزمایش به حمام یخ منتقل شدند تا سرد شوند. سپس به لوله‌های آزمایش چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و لوله‌ها را به خوبی با دستگاه ورتکس به مدت ۲۰ ثانیه همزده شد. با ثابت نگه داشتن لوله‌ها به مدت ۲۰ دقیقه دو لایه مجزا در آنها تشکیل شد. سرانجام از لایه‌ی رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.9 انجام گرفت و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه آماری شدند.

نتایج و بحث

تعداد طبق در بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر تعداد طبق در بوته گلرنگ ($p\leq0.01$) و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود (جدول ۲).

بیشترین تعداد طبق در بوته از تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در نتیجه کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی بدست آمد و کمترین تعداد طبق در بوته برای تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک در شرایط عدم مصرف کود حاصل شد (جدول ۳). با افزایش فاصله دور آبیاری و شدیدتر شدن تنش خشکی تا سطح ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، ۳۸ درصد از تعداد طبق در بوته کاسته شد، اما کاربرد تلفیقی تیمارها موجب تخفیف اثرات نامطلوب ناشی از تنش خشکی شد، به‌طوری‌که در تمام سطوح آبیاری مصرف نانو کود روی، مایکوریزا و کاربرد تلفیقی هر دو منبع کودی از طریق کارایی بالاتر کود نانو و همچنین افزایش سطح سیستم ریشه‌ای گیاه از طریق همزیستی مایکوریزایی و فراهمی نسبی رطوبت (Habibzadeh *et al*., 2013) باعث افزایش تعداد طبق در بوته گردید.

نتیجه آزمایش بیانگر آن بود که در تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی منجر به بهبود ۳۲ درصدی تعداد طبق در بوته در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود (شاهد) گردید. میزان این بهبود در سطوح ۶۰، ۱۱۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به ترتیب برابر با ۲۶، ۳۶ و ۲۴ درصد بود (جدول ۴).

به‌نظر می‌رسد اگرچه کوتاه‌تر شدن دوره رشد رویشی و زایشی گیاه تحت تأثیر تنش خشکی از طریق کاهش تولید مواد فتوسنتزی و عدم تأمین مواد فتوسنتزی کافی جهت تخصیص مناسب به طبق‌های در حال رشد باعث کاهش تعداد طبق در بوته گردید. اما، در شرایط

تنش خشکی، همزیستی با قارچ مایکوریزا از طریق افزایش سطح جذب ریشه‌ها (نفوذ میسلیوم‌های قارچ و افزایش سطح تماس ریشه با خاک) موجب افزایش دسترسی گیاه گلرنگ به آب و مواد غذایی شده (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012) و از طرف دیگر، کاربرد همزمان نانو کود روی با مایکوریزا نیز از طریق نقش کلیدی نانو کلات روی در فرآیندهای فتوسنتز و آنابولیک تعداد مختلفی از گونه‌های گیاهی (Zuo and Zhang, 2011) توانسته با بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه در فتوسنتز مؤثر باشد و از طریق تحریک تولید مواد فتوسنتزی موجب افزایش تعداد طبق در بوته گلرنگ گردید. بر طبق گزارش کمرکی و گلوی (Kamaraki and Galavi, 2012) عناصر ریزمغذی نقش مثبتی بر تولید طبق در بوته گلرنگ دارند.

نتایج مطالعه فرخی‌نیا و همکاران (Farokhinia *et al*., 2011) روی اثر اعمال تنش خشکی (بدون تنش و تنش کمبود آب در مراحل ساقه روی، گل دهی و پر شدن دانه) روی گلرنگ بهاره نشان داد بروز تنش خشکی در مرحله گلدهی موجب کاهش معنی‌دار تعداد طبق در بوته گردید که این اُفت بیشتر ناشی از کاهش طبق‌های ثانویه بود. در تحقیقی دیگر نیز مشخص شد که با افزایش شدت تنش خشکی (از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در گلرنگ، به‌دلیل کاهش ارتفاع گیاه، انشعابات جانبی و دوره رشد از تعداد طبق در بوته به‌طور معنی‌داری کاسته شد (Noroozi and Kazemeini, 2013). حبیب‌زاده و همکاران (Habibzadeh *et al*., 2013) با بررسی اثر مایکوریزا آربوسکولار بر عملکرد و اجزاء عملکرد ماش (*Vigna radiate* L.) تحت شرایط تنش کم‌آبی (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) دریافتند که همزیستی با گونه *گلوموس اینترارادایسز* در شرایط تنش توانست با کاهش اثرات تنش خشکی منجر به بهبود تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته شود. آنها دلیل این امر را به افزایش نسبی سطح ریشه نسبت دادند.

تعداد دانه در طبق: تعداد دانه در طبق گلرنگ به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.01$) تحت تأثیر سطوح آبیاری و مصرف منابع مختلف کودی قرار گرفت. اما، اثر برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در طبق در سطح آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کمترین تعداد دانه در طبق (۱۶/۱۷ دانه در طبق) در آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر مشاهده شد. با افزایش شدت تنش خشکی از ۶۰ به ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، تعداد دانه در طبق ۱۴۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح آبیاری و منابع کودی بر خصوصیات کمی و کیفی در گلرنگ

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for effects of irrigation levels and fertilizer resources on qualitative and quantitative criteria of safflower

		میانگین مربعات Mean of squares							
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد طبق در بوته Number of head per plant	تعداد دانه در طبق Number of seed per head	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	درصد روغن Oil percentage	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugar
تکرار Replication	2	29.89**	26.27**	7.58^{ns}	31362.33^{ns}	5710257.58^{ns}	64.77*	0.18*	0.075^{ns}
آبیاری Irrigation	3	137.58**	474.72**	390.96**	664281.**	2452188.88**	1.41**	0.79**	1.22**
خطای اصلی Main error	6	4.47	2.74	23.52	40516.77	1941937.55	6.32	0.027	0.037
کود Fertilizer	3	56.36**	87.66**	217.57**	6600.74**	3555382.50**	20.74**	0.73**	0.104**
آبیاری × کود Irrigation×Fertilizer	9	4.82*	9.87^{ns}	60.61**	495.55*	158023.44^{ns}	1.79^{ns}	0.076*	0.035*
خطای فرعی Sub error	24	1.75	5.48	14.62	5300.91	46234.52	1.99	0.032	0.013
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.69	9.30	11.32	5.56	11.28	5.15	10.11	9.74

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح آبیاری و منابع کودی بر اجزای عملکرد و صفات کیفی در گلرنگ

Table 3- Mean comparisons for interaction effects of irrigation levels and fertilizer resources on yield components and qualitative traits of safflower

سطوح آبیاری Irrigation levels (mm evaporation from evaporation pan)	نوع کود (Fertilizer type)	تعداد طبق در بوته Number of head (per plant)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
60	نانو کلات روی (Nano chelated zinc)	23.5bc*	41ab	2459ab
	مایکوریزا (Mycorrhizal)	25.1ab	45.2a	2530a
	مایکوریزا + نانو کلات روی (Mycorrhizal+ Nano chelated zinc)	27a	38.5abc	2588a
	عدم مصرف کود (Control)	21.5cde	35.5bcde	2356bc
110	نانو کلات روی (Nano chelated zinc)	20.5def	37.2abc	2449ab
	مایکوریزا (Mycorrhizal)	22.6cd	32.3cdef	2483ab
	مایکوریزا + نانو کلات روی (Mycorrhizal+ Nano chelated zinc)	26.5a	44.6a	2565a
	عدم مصرف کود (Control)	19.5efg	29def	2355bc
160	نانو کلات روی (Nano chelated zinc)	17.6fgh	35bcde	2153.3de
	مایکوریزا (Mycorrhizal)	20def	36.3bcd	2285.6cd
	مایکوریزا + نانو کلات روی (Mycorrhizal+ Nano chelated zinc)	19.3efg	37.6abc	2310c
	عدم مصرف کود (Control)	15.6hj	31cdef	2080ef
210	نانو کلات روی (Nano chelated zinc)	15.3hj	25.3f	1973.3f
	مایکوریزا (Mycorrhizal)	17gh	28ef	2090ef
	مایکوریزا + نانو کلات روی (Mycorrhizal+ Nano chelated zinc)	17.6fgh	29.1def	2133de
	عدم مصرف کود (Control)	13.3j	22.5g	1836.6g

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

*Means with different letters are are not significantly different based on Duncan's multiple range test p≤0.05.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری و منابع کودی بر تعداد طبق در بوته، عملکرد زیستی و درصد روغن در گلرنگ

Table 4- Mean comparisons of main effects of irrigation and fertilizer resources on seed per head, biological yield and oil percentage of safflower

تیمار Treatment		تعداد دانه در طبق Number of seed per head	عملکرد زیستی Biological yield ($kg\ ha^{-1}$)	درصد روغن Oil percentage
آبیاری Irrigation (mm evaporation from evaporation pan)	60	39.58a*	8275a	30.75a
	110	39.42a	8131.33a	28.92b
	160	35.50b	6383.42b	25.83c
	210	16.17c	53.58c	23.92d
کود Fertilizer	مایکوریزا + نانو کلات روی Mycorrhizal+ Nano chelated zinc	38.25a	7636.5a	28.92a
	نانو کلات روی Nano chelated zinc	34.66b	6998b	27.88b
	مایکوریزا Mycorrhizal	35.92b	7149ab	27b
	عدم مصرف کود Control	31.75c	6318.7c	25.75c

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

*Means with different letters in a column and for each component are not significantly different based on Duncan's multiple range test p≤0.05.

چنین به‌نظر می‌رسد که بروز تنش خشکی با کاهش گرده‌افشانی و همچنین سقط جنین در بعضی طبق‌ها، موجب کاهش تعداد دانه در طبق شده است.(Pasban Eslam, 2011) از طرفی، از آنجا که تعداد طبق و تعداد دانه در طبق در حقیقت ظرفیت مخزن را تعیین می‌کند، هرچه تعداد طبق و تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخازن بزرگتری برای دریافت مواد فتوسنتزی تولیدی شده بوده و افزایش این صفات منجر به افزایش عملکرد نهایی گیاه می‌شود (Kadkhodaei and Ehsanzade, 2011). بنابراین، هر عاملی که از طریق نقصان در فراهم شدن نهاده‌های فتوسنتزی باعث کاهش در اجزای عملکرد گیاه شود، منجر به کاهش عملکرد نهایی گیاه خواهد شد. توکلی (Tavakoli, 2002) گزارش نمود که وقوع تنش خشکی قبل از گلدهی به طور معنی‌داری باعث کاهش تعداد دانه در طبق در گلرنگ شد، در حالی‌که اعمال تنش خشکی پس از پایان گلدهی تأثیر اندکی بر تعداد دانه داشته و بیشتر موجب کاهش وزن هزاردانه گردید.

در بین منابع کودی به‌کار رفته، کاربرد تلفیقی قارچ مایکوریزا+ نانو کود روی بیشترین تعداد دانه در طبق را در بوته‌ها حاصل کرد و عدم استفاده از منابع کودی کاهش ۱۷ درصدی تعداد دانه در طبق را به‌همراه داشت (جدول ۳). توحیدی‌مقدم و همکاران (Tohidi-Moghaddam *et al*., 2004) دریافتند که افزایش حلالیت فسفر توسط قارچ مایکوریزا و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی ریشه به این عنصر غذایی می‌تواند در افزایش تعداد دانه در گیاه و نیز سایر اجزای عملکرد گیاه سویا (*Glycine max* L.) مؤثر باشد. مارشنر (Marschner, 1995) بیان کرد عنصر روی در ساخت پروتئین لوله گرده شرکت کرده و سبب ذخیره آن در این اندام شده که این امر منجر به افزایش گرده‌افشانی و تشکیل دانه می‌شود. بدین‌ترتیب، از آنجا که از جمله خصوصیات ذرات نانو قابلیت حل‌پذیری و جذب بالا در گیاه می‌باشد(Green and Beestman, 2007)، به‌نظر می‌رسد که نانو کود روی به دلیل ثبات و پایداری بالا، بیشتر در اختیار گیاه قرار گرفته و با تأثیر مثبت بر گرده‌افشانی در تشکیل دانه در طبق مؤثرتر بوده است. از طرف دیگر، کاربرد کود مایکوریزا با توسعه سیستم ریشه‌ای سبب افزایش دسترسی گیاه گلرنگ به آب و مواد غذایی شده در نتیجه فتوسنتز بهبود یافته و متعاقبا تعداد دانه در بوته افزایش یافته است. سید شریفی و خرم‌دل (Seyed Sharifi and Khorramdel, 2014) گزارش نمودند که با افزایش مصرف نانواکسید روی، وزن خشک گره، تعداد دانه در نیام و تعداد نیام در بوته سویا افزایش یافت؛ به طوری‌که بالاترین وزن خشک گره (۹/۰۵ میلی‌گرم)، تعداد نیام در بوته (۲۳/۲۳) و دانه در نیام (۳/۰۸) در محلول‌پاشی با غلظت ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی به‌دست آمد.

وزن هزار دانه: اثر سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی و برهم‌کنش آن‌ها بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه از تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با کاربرد مایکوریزا و کمترین وزن هزار دانه در آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در شرایط عدم مصرف کود به‌دست آمد (جدول ۳). بر اساس نتایج این تحقیق در هر سطح از آبیاری با مصرف منابع کودی، وزن هزار دانه افزایش یافت که درصد افزایش آن از سطوح آبیاری ۶۰، ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر از عدم مصرف کود به مصرف تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود به ترتیب به میزان ۸، ۵۴، ۲۱ و ۲۹ درصد بود (جدول ۳). بنابراین، نتایج آزمایش حاضر بیانگر آن بود که با افزایش شدت تنش خشکی از ۶۰ به ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر وزن هزار دانه گلرنگ ۵۳ درصد کاهش یافت. اما، کاربرد قارچ مایکوریزا و نانو کود روی به تنهایی و به‌صورت تلفیقی توانست اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد و به خصوص در شرایط اعمال تنش شدید (اعمال ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) منجر به بهبود وزن هزار دانه گلرنگ (به ترتیب با ۲۴ و ۲۹ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) شود. از نتیجه آزمایش حاضر چنین استنباط می‌شود که همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه گیاه گلرنگ از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب و عناصر غذایی، باعث افزایش فتوسنتز گیاه شده و از این طریق، موجب بهبود رشد گیاه و به دنبال آن سبب افزایش وزن دانه گردیده است (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012). از طرفی، به‌نظر می‌رسد که نانو کلات روی نیز به‌علت سطح ویژه بالا و حلالیت زیاد، قابلیت زیادی جهت جذب توسط گیاه دارند و با افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و با تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به قسمت‌های زایشی از جمله وزن دانه تأثیرگذار است (Tousi *et al*., 2014) مجموعه این دلایل، افزایش پارامترهای مؤثر در اجزای عملکرد را به دنبال دارد و به‌طور ویژه در شرایط وقوع تنش از گیاه در برابر آسیب‌های جدی محافظت می‌کند. شجاعی و مکاریان (Shojaei and Makarian, 2014) گزارش کردند که محلول‌پاشی روی (شاهد (بدون محلول پاشی)، ۵ و ۱۰ گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی و ۵ و ۱۰ گرم در لیتر اکسید روی) در شرایط وقوع تنش خشکی (شاهد (آبیاری کامل در تمام فصل رشد)، یک نوبت قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، یک نوبت قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد غلاف‌دهی) می‌تواند فرایندهای فتوسنتزی و تجمع کربوهیدرات‌ها را بهبود بخشیده و اثرات منفی تنش را کاهش دهد. در تحقیقی دیگر نیز مشخص شد که تنش کمبود آب موجب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه گلرنگ گردید (Milady Lary and Ehsanzadeh, 2010).

عملکرد زیستی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر هر دو تیمار مورد مطالعه بر عملکرد زیستی گلرنگ معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود

(جدول ۲). طبق نتایج به دست آمده، تأخیر در زمان آبیاری سبب کاهش معنی‌دار عملکرد زیستی گلرنگ شد. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار در شاخص ذکر شده به‌ترتیب در نتیجه آبیاری در زمان ۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشک به‌دست آمد (جدول ۴). گیاهانی دارای عملکرد بالایی خواهند بود که با توجه به شرایط رشد خود از عوامل تولید، بهترین استفاده را برده و مواد فتوسنتزی بیشتری را در اندام‌های خود تجمع دهند، اما در شرایط تنش به دلیل کاهش رشد گیاه، کاهش فتوسنتز و یا حتی ساختار سایه‌انداز، گیاه شرایط لازم برای تجمع مواد فتوسنتزی را در اندام‌های خود ندارد. لال و ادواردز (Lal and Edwards, 1996) گزارش کردند که کاهش سرعت فتوسنتز در طول دوره تنش خشکی در گیاه ذرت ممکن است صرف‌نظر از تأثیر عوامل روزنه‌ای به علت کاهش فعالیت آنزیم رابیسکو باشد. بدین‌ترتیب، از آنجا که رابیسکو مهمترین و فراوان‌ترین پروتئین برگ است، لذا بروز تنش با کاهش پروتئین، می‌تواند کاهش فتوسنتز جاری را در پی داشته باشد (Saeidi *et al*., 2011). از طرف دیگر، در شرایط تنش خشکی به‌نظر می‌رسد به‌منظور افزایش جذب آب، گیاهان مشارکت بیشتری در اختصاص مواد به اندام‌های فتوسنتزی و ریشه‌ها داشته باشند. بنابراین، تحت چنین شرایطی وزن اندام‌های هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. نبی‌پور و همکاران (Nabipour *et al*., 2007) با بررسی اثر قطع آبیاری را در مرحله جوانه‌زنی، گلدهی و رسیدگی را با حالت آبیاری نرمال در گیاه گلرنگ دریافتند که رژیم‌های مختلف آبیاری اثرات معنی‌دار را روی عملکرد زیستی گلرنگ دارد.

مقایسه میانگین زیستی نشان می‌دهد که کاربرد کودهای مصرفی به‌صورت نانوکلات روی و همزیستی با قارچ مایکوریزا در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود) نقش مؤثری در افزایش عملکرد زیستی گلرنگ داشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد زیستی تحت تأثیر کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی به‌دست آمد که افزایش ۱۸ درصدی را نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) نشان داد. درصد افزایش عملکرد زیستی در شرایط همزیستی با کاربرد کود کلات روی و مایکوریزا نیز به ترتیب برابر با ۱۱ و ۱۳ درصد بود (جدول ۳). افزایش عملکرد ماده خشک در حضور عنصر روی به دلیل افزایش بیوسنتز اکسین، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فعالیت فسفوانول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر می‌باشد (Romheld and Marchner, 1998). بدین ترتیب، در حضور عنصر روی توان فتوسنتزی و ساخت کربوهیدارت‌های گیاهی افزایش می‌یابد. ازطرفی، قارچ‌های مایکوریزا قادرند از طریق افزایش جذب بهتر آب و عناصر غذایی، سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و بهبود رشد، نظیر عملکرد زیستی گیاه می‌گردد. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel *et al.*, 2008)گزارش کردند که میزان تجمع ماده خشک در گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) همزیست با گونه *G. intraradices* مایکوریزا با گذشت زمان به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج مطالعه یعقوبیان و همکاران (Yaghoubian *et al*., 2012) روی تلقیح گندم تحت تأثیر تلفیقی از گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا در سطوح مختلف تنش خشکی (ظرفیت زراعی، ۵- و ۱۰- بار) نشان داد که همزیستی مایکوریزایی (*Glomuss mossea*) در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش خشکی می‌تواند عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم را افزایش دهد. فتحی و زاهدی (Fathi and Zahedi, 2014) با مقایسه فرم‌های مختلف محلول‌پاشی با آهن و روی (محلول‌پاشی اکسید روی به فرم معمول، به فرم نانوذرات و تیمار عدم محلول‌پاشی آب مقطر) با غلظت دو در هزار اظهار داشتند که محلول‌پاشی به شکل نانو ذرات وزن خشک اندام هوایی ذرت را به نسبت بیشتری در مقایسه با محلول پاشی آهن و روی به شکل معمول آن‌ها افزایش داده است.

عملکرد دانه: اثر سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر عملکرد دانه گلرنگ در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر یک سطوح آبیاری (۶۰، ۱۶۰،۱۱۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر) کمترین عملکرد دانه از شاهد و بیشترین میزان برای تیمار کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی به‌دست آمد (جدول ۳). با وجود تأثیر منفی تأخیر در آبیاری و وقوع تنش خشکی بر عملکرد دانه، کاربرد کودهای مصرفی به‌ویژه به صورت تلفیقی نقش مؤثری در کاهش اثرات کم‌آبیاری داشت. در شرایط عدم کاربرد کود، عملکرد دانه در نتیجه آبیاری در زمان ۲۱۰ میلی‌متر در مقایسه با ۶۰ میلی‌متر تبخیر تا ۲۲ درصد کاهش یافت؛ حال آن‌که در شرایط کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی، آبیاری در زمان ۲۱۰ میلی‌متر در مقایسه با ۶۰ میلی‌متر تبخیر (۲۳۵۶ کیلوگرم در هکتار) منجر به کاهش ۱۰ درصدی عملکرد دانه گردید (جدول ۴). بنابراین، کاربرد منابع کودی توانستند اثرات نامطلوب ناشی از تنش خشکی را تا حدی تخفیف دهند. به‌طور کلی، در تمام سطوح آبیاری مصرف نانو کود روی، مایکوریزا و ترکیب هر دو منبع کود باعث افزایش عملکرد دانه گردید (جدول ۳).

از جمله دلایل کاهش عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌توان به برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای اشاره نمود، چرا که در شرایط تنش خشکی به دلیل تخلیه آب قابل استفاده خاک میزان تجمع املاح در محیط ریشه افزایش می‌یابد که باعث کاهش پتانسیل اسمزی محیط ریشه و بروز سمیت ویژه یونی و کمبود یون‌های غذایی می‌شود (Kafi *et al*., 2009).کافی و رستمی (Kafi and Rostami, 2007) خاطر نشان ساختند که کمبود آب در مرحله تشکیل طبق‌های گلرنگ، موجب کاهش اندازه گیاه، تغییر رنگ برگ‌ها، کم‌شدن دوام سطح برگ و کاهش عملکرد گردید. نتایج برخی از تحقیقات قبلی (Fathian and Ehsan Zade, 2013; Maghami *et al*, 2014;

(Noroozi and Kazemeini, 2013) نیز حاکی از آن است که گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی اغلب به دلیل کاهش تعداد طبق و تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه کمتری تولید می‌کند. فرخی‌نیا و همکاران (Farokhinia *et al*., 2011) نیز نشان دادند که تنش خشکی در گیاه گلرنگ با کاهش محتوی آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها از یک‌سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و سایر فرآیندهای مربوطه موجب اُفت عملکرد از طریق کاهش اجزای عملکرد شد، اما در تحقیق حاضر همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه گیاه گلرنگ احتمالاً از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی و تسریع بهبود این روابط به‌واسطه بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه شد. از طرفی، از نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که محلول‌پاشی با نانو کلات روی با در دسترس قرار دادن سریع مواد غذایی در طی مراحل رشد گیاه و به‌علت کمک به افزایش رشد رویشی، بهبود سیستم فتوسنتزی، افزایش سبزینگی و احتمالاً دوام سطح برگ منجر به افزایش کارایی فتوسنتزی برگ شده که نتیجه آن افزایش عملکرد گیاه است (Monica and Cremonini, 2009). حمزه‌ئی و همکاران (Hamzei *et al*., 2015) در گیاه کدوی تخمه‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) دریافتند که رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی این گیاه تأثیر معنی‌داری داشت. به‌طوری که کاهش سطوح آبیاری سبب کاهش عملکرد اقتصادی و درصد اسیدهای چرب دانه گردید. امیدی تبریزی (Omidi Tabrizi, 2012) و محسن‌نیا و جلیلیان (Mohsen Nia and Jalilian, 2012) اظهار داشتند که در شرایط کمبود آب عملکرد دانه گلرنگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. راعی و همکاران (Raie *et al*., 2015) اظهار داشتند که همزیستی با قارچ مایکوریزا و باکتری *ازتوباکتر* در شرایط تنش خشکی، میزان جذب عناصر غذایی نیتروژن و فسفر و نیز عناصر ریز مغذی را در گیاه گلرنگ بهبود بخشیده و از این طریق سبب افزایش رشد و نمو و مقدار کلروفیل برگ و متعاقب آن، افزایش میزان فتوسنتزی گیاه شده و از این طریق با افزایش طرح‌های اولیه طبق و به تبع آن تعداد طبق در بوته، در نهایت، کاهش پوکی دانه و افزایش وزن هزار دانه و عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ را در پی داشته است. ساجدی و همکاران (Sajedi *et al*., 2010) با بررسی جذب برخی عناصر غذایی تحت تأثیر میکوریزا (*Glomus intraradices*)، سطوح مختلف روی و تنش خشکی در ذرت (*Zea mays* L.) دریافتند که با آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، تلقیح با میکوریزا و ۴۵ کیلوگرم سولفات روی در هکتار عملکرد مطلوب حاصل می‌شود.

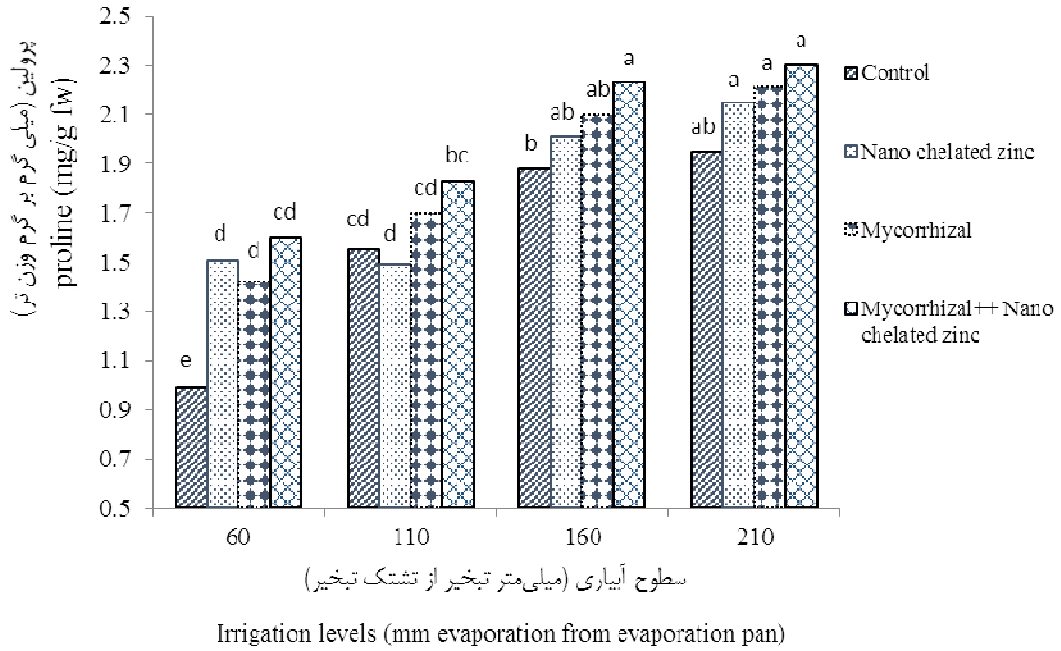
درصد روغن: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که درصد روغن گلرنگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و منابع کودی قرار گرفت ($p\leq0.01$) (جدول ۲). با کاهش میزان آب آبیاری از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر درصد روغن به میزان ۵/۹، ۱۶ و ۲۲/۲ درصد کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد که گیاه گلرنگ در برخورد با شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش میزان فتوسنتز برگی با کاهش انرژی لازم در گیاه برای ساخت موادی همچون روغن مواجه شده است، لذا درصد روغن در طی تنش خشکی کاهش یافته است. مسعود سینکی و همکاران (Masoudsinaki *et al*., 2007) نیز کاهش محتوی روغن دانه کلزا (*Brassica napus* L.) را در اثر تنش خشکی گزارش نموده‌اند.

بین منابع کودی نیز تفاوت معنی‌داری از لحاظ درصد روغن مشاهده گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با مصرف ترکیب نانو کود روی+ مایکوریزا بر درصد روغن افزوده شد، اگرچه تفاوت دو تیمار نانو کود و مایکوریزا از نظر این صفت معنی‌دار نبود. اما، کمترین و بیشترین درصد روغن به‌ترتیب متعلق به شاهد (عدم مصرف کود) و مصرف تلفیقی نانو کود روی+ مایکوریزا بود (جدول ۴). نتایج تحقیق برخی محققان نشان می‌دهد که عناصر ریزمغذی به عنوان کوفاکتور آنزیم‌های مسئول بیوسنتز اسیدهای چرب عمل می‌کنند و با فعالسازی فرایندهای تشکیل اسیدهای چرب، افزایش جذب، انتقال عناصر و افزایش میزان روغن در گیاهان موجب بهبود ویژگی‌های کیفی گیاه می‌شوند (Scott *et al*., 2003; Thomas *et al*., 2009). در تحقیق حاضر نیز محلول‌پاشی با عنصر روی با رفع به موقع نیاز گیاه باعث افزایش درصد روغن گردید. نتایج آزمایش شیخ‌بگلو و همکاران (Sheykhbagloo *et al*., 2009) نیز حاکی از تأثیر مثبت عنصر روی (با غلظت پنج در هزار) در افزایش میزان روغن در شرایط تنش رطوبتی در گیاه ذرت است. امیدی و همکاران (Omidi *et al*., 2009) در بررسی اثر کاربرد *ازتوباکتر* و همزیستی میکوریزایی در ارزیابی صفات کیفی گلرنگ اظهار داشتند که بیشترین روغن دانه با میانگین ۲۱/۵۸ درصد در تیمار تلقیح با سویه *G. intraradices* و کمترین روغن دانه با میانگین ۱۹/۵۳ درصد در تیمار عدم تلقیح با قارچ *گلوموس* بود.

پرولین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین (۲/۳ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ) در سطح آبیاری ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با مصرف تلفیقی مایکوریزا + نانو کود و کمترین میزان پرولین (۰/۹۹ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ) در سطح آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در شرایط عدم مصرف کود به‌دست آمد (شکل ۱).

همچنین در هر سطح از آبیاری با افزایش مصرف کود میزان پرولین افزایش یافت که درصد افزایش آن از تیمار آبیاری پس از ۶۰، ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر از عدم مصرف کود به مصرف تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود به‌ترتیب به میزان ۶۱/۶۶، ۱۸/۰۶، ۱۸/۶۱ و ۱۷/۹۴ درصد بود (جدول ۴). افزایش پرولین در گیاه

هنگام تنش، نوعی مکانیسم دفاعی محسوب می‌شود که از طریق فرآیند تنظیم اسمزی نقش مهمی در جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها، پاک کردن رادیکال‌های هیدروکسیل، حفاظت از ساختار پروتئینی و غشاء سلول، تثبیت ساختارهای درون سلولی، بردباری و تحمل گیاه را در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهد (Kafi *et al*., 2009).



شکل ۱- تأثیر سطوح آبیاری و منابع کودی بر پرولین گلرنگ

Figure 1- Effects of irrigation levels and fertilizer resources on proline content in safflower

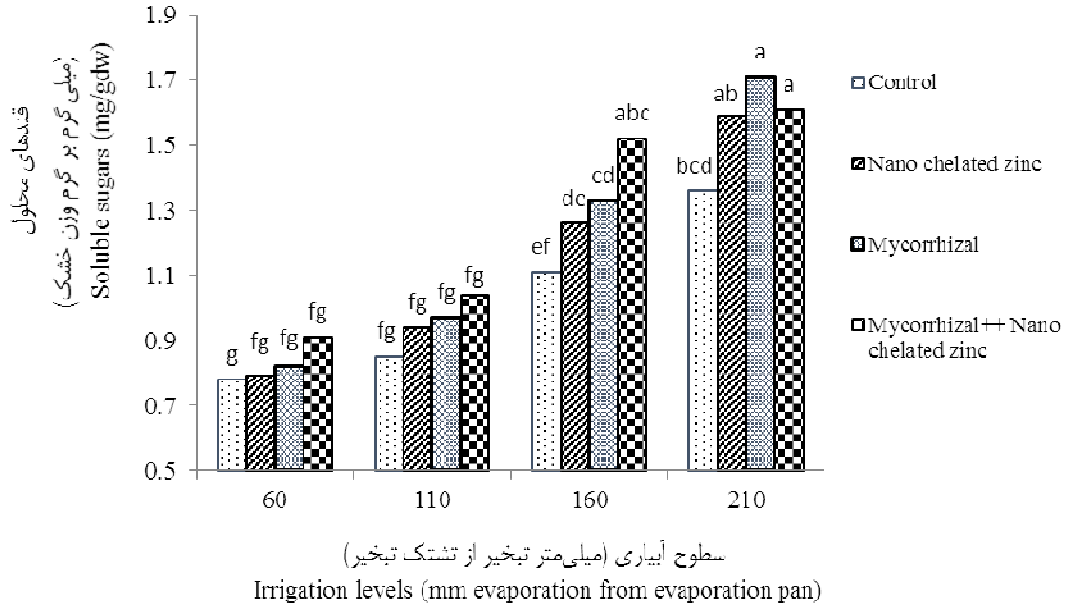
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters in each shape are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

فتحیان و احسان زاده (Fathian and Ehsan Zade, 2013) با بررسی ارتباط برخی خصوصیات فیزیولوژیک شش ژنوتیپ گلرنگ در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که تنش خشکی در گیاه گلرنگ اثر معنی‌داری روی میزان پرولین برگ‌ها داشت، به‌طوری‌که با افزایش سطح تنش (از ۸۰ به ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر) تجمع پرولین در برگ‌ها افزایش یافت. ضمن آنکه بیشترین میانگین غلظت پرولین برگ در ژنوتیپ کوسه مشاهده شد. در تحقیق حاضر، میزان پرولین با کاربرد مایکوریزا افزایش نشان داد. چنین به نظر می‌رسد که همزیستی ریشه گیاهان در گیاهان تحت تنش خشکی می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم آورد که در نتیجه آن گیاهان کمتر دچار تنش می‌شوند. معمولا گیاهان مایکوریزا با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون مایکوریزا در شرایط تنش خشکی کمتر دچار آسیب می‌شوند و در نتیجه با تغییر در میزان پرولین و قندهای محلول نسبت به گیاهان بدون مایکوریزا گیاه را از صدمات تنش خشکی محافظت می‌کنند (Ruiz-Lozano, 2003). افزایش سطح پرولین در هنگام روبه‌رو شدن با تنش خشکی در گیاه سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) (Masoudi-Sadaghiani *et al*., 2011) و گلرنگ (Hojati *et al*., 2011) نیز توسط برخی محققان گزارش شده است که با نتیجه آزمایش حاضر هم‌خوانی دارد. در بررسی موحدی دهنوی و همکاران (Movahhedi Dehnavi *et al*., 2004) نیز افزایش تنش کم‌آبیاری و همچنین محلول‌پاشی عنصر روی (با غلظت سه در هزار) موجب افزایش پرولین در ارقام گلرنگ گردید. بنابراین، با توجه به نتایج تحقیقات مشخص است که عنصر روی در شرایط تنش کم‌آبیاری، نقش افزایش‌دهنده در امر تنظیم اسمزی به‌واسطه افزایش میزان پرولین و یا قندهای محلول دارد. همچنین، عنصر روی نیز در سنتز پروتئین‌ها و کربوهیدارت‌ها، متابولیسم سلول، محافظت غشاء از رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها، نقش مهمی ایفا می‌کند (Hemantaranjan, 1996).

قندهای محلول: همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر محتوی قندهای محلول گلرنگ در سطح احتمال یک درصد و اثر برهم‌کنش آن‌ها در سطح

احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. به‌طورکلی، با افزایش تنش خشکی، میزان قندهای محلول برگ افزایش یافتند، هر چند بین سطوح مختلف آبیاری به‌ویژه تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که با کاربرد منابع کود، میزان قندهای محلول در برگ افزایش پیدا کرد. به‌طوری‌که با کاربرد نانو کود روی، مایکوریزا و کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی در شرایط تنش شدید (آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، میزان قندهای محلول نسبت به عدم مصرف کود در همین سطح تنش خشکی (آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) به‌ترتیب ۱۶/۹، ۲۵/۷ و ۱۸/۳ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر سطوح آبیاری و منابع کودی بر قندهای محلول گلرنگ

Figure 2- Effect of irrigation levels and fertilizer resources on soluble sugars in safflower

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

Means with different letters in each shape are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

بسیاری از شرایط تنش‌زای محیطی بر متابولیسم قندها و پخش مواد فتوسنتزی در گیاهان در حال رشد اثر می‌گذارند. افزایش میزان قندهای محلول به عنوان شاخص فیزیولوژیک مهم در تنظیم اسمزی و مقاومت به تنش خشکی توسط محققان زیادی گزارش شده است. به طوری که در شرایط تنش خشکی، گیاهان تجمع مواد محلول را در سلول‌ها به‌منظور دسترسی بیشتر به آب افزایش می‌دهند (Yordanov *et al*., 2003). بدین‌ترتیب، افزایش قندهای محلول در واکنش به تنش خشکی احتمالاً مربوط به انتقال کمتر از برگ‌ها، مصرف آهسته‌تر مواد فتوسنتزی تحت تأثیر کاهش رشد و همچنین دیگر تغییرات نظیر هیدرولیز می‌باشد (Kameli and Losel, 1996). پاتاکاس (Patakas, 2000) بیان نمود که قندها از اسمولیت‌های سازگار به‌شمار می‌آیند که در تنظیم اسمزی برای حفظ تورژسانس سلول‌ها و پایدار نمودن پروتئین و غشای سلولی نقش عمده‌ای بر عهده دارند. در این تحقیق نیز روند فزاینده‌ای در مقدار پرولین و همسو با آن در قندهای محلول مشاهده شد. نتایج مشابه نیز توسط مقامی و همکاران (Maghami *et al*, 2014) در گلرنگ نیز مبنی بر افزایش قندهای محلول در شرایط تنش خشکی گزارش شده است. در ارتباط با نقش مایکوریزا بر میزان قندهای محلول در تنش خشکی، گزارش‌های متعددی وجود دارد. بعضی از محققان بر این باورند که همزیستی با مایکوریزا باعث افزایش قندهای محلول در برگ گیاهان میزبان می‌شود و دلیل این امر را این گونه بیان می‌کنند که این ترکیبات با تجمع در سلول، باعث کاهش پتانسیل آبی برگ شده و گیاه را از صدمات تنش خشکی محافظت می‌کنند (Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008; Wu *et al*., 2007) در بررسی موحدی دهنوی و همکاران (Movahhedi Dehnavi *et al*., 2004) افزایش تنش کم‌آبیاری (بدون قطع آبیاری و قطع آبیاری در مرحله‌های رشد رویشی، گلدهی و گرده‌افشانی و همچنین پر شدن دانه) و محلول‌پاشی عنصر روی (با غلظت سه در

هزار)، سبب افزایش قند محلول در ارقام گلرنگ گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط اقلیمی شهرستان نقده کاربرد این ترکیبات باعث بهبود قابل توجه در برخی از صفات فیزیولوژیک گیاه گلرنگ و میزان عملکرد تولیدی گیاه گلرنگ گردید. در اکثر شاخص‌های مورد بررسی، مصرف کود نانو کلات روی به‌دلیل کارایی جذب و انتقال بالا و همزیستی با قارچ مایکوریزا از طریق مهیا نمودن شرایط لازم برای جذب بیشتر عناصر معدنی و آب توانستند به خوبی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را تخفیف دهند. بدین‌ترتیب، با توجه به افزایش روز افزون کاربرد کودهای شیمیایی و خسارات جبران‌ناپذیری که استفاده بی‌رویه از این ترکیبات به محیط زیست و سلامت انسان وارد می‌کند و توجه جهانی به مفاهیم کشاورزی پایدار، فناوری نانو و کاربرد کودهای زیستی می‌توانند به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای کودهای شیمیایی مورد توجه و استفاده قرار گیرند. همچنین، با توجه به کاهش شدید منابع آب زیرزمینی و افت سطح آنها، کاهش بارندگی طی چند سال اخیر و کمبود آب در اکثر مناطق کشور، لزوم بازنگری در مدیریت تغذیه‌ای محصولات دانه روغنی نظیر گلرنگ که گیاهی مقاوم به تنش خشکی و شوری است و به دلیل داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه از آینده نویدبخشی برخوردار هستند، با در نظر گرفتن صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی ضروری به‌نظر می‌رسد.

References

1. Bagheri, H., Andalibi, B., and Azimi-Moghaddam, R. 2012. Effect of atrazine anti transpiration application on improving physiological traits, yield and yield components of safflower under rainfed condition. Journal of Crops Improvement 14 (2): 1-16. (in Persian with English abstract).
2. Bates, L. S., Waldren, R. P., and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39: 205-207.
3. Baybordi, A. 2006. Zinc in soils and crop nutrition. Parivar Press. First Edition. 179 p. (in Persian).
4. Cho, K., Toler, H., Lee, J., Ownely, B., Stutz, J. C., Moore, J. L., and Auge, R. M. 2006. Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses. Journal of Plant Physiology 163: 517-528.
5. Farokhinia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam, B., and Sasandoost, R. 2011. Study of some physiological traits and yield in spring safflower under water deficit stress. Iranian Journal of Field Crop Science 42 (3): 553-545. (In Persian with English abstract).
6. Fathi, A., and Zahedi, M. 2014 .The effect of spraying nanoparticles of iron oxide and zinc on growth and ionic content of two cultivars of maize (*Zea mays* L.) different levels of salinity in the soil. Iranian Journal of Field Crops Research, 110-117. (in Persian with English abstract).
7. Fathian Sh., and Ehsan Zade P. 2013. Association between some physiological characteristics and yield in spring safflower under two irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science 43 (4): 649-659. (in Persian with English abstract).
8. Galle, A., Florez-Sarasal, I., Thameur, A., Paepe, R. D., Flexas, J., and Ribas-Carb, M. 2010. Effects of drought stress and subsequent rewatering on photosynthetic and respiratory pathways in *Nicotiana sylvestris* wild type and the mitochondrial complex I-deficient CMSII mutant. Journal of Experimental Botany 61: 765-775.
9. Good, A. G., and Zaplachiniski, S. T. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. Physiologia Plantarum 90 (1): 9-14.
10. Green, J. M., and Beestman, G. B. 2007. Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology, Crop Protection 26: 320-327.
11. Habibzadeh, Y., Zardoshti, M. R., Pirzad, A., and Jalilian, J. 2013. Effects of mycorrhizal arboscular on grain yield and yield component of Mungbean (*Vigna radiate* (L.) Wilczk) underwater deficit stress. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), p. 38-47. (in Persian with English abstract).
12. Hamzei, J., Babaei, M., and Khorramdel, S. 2015. Effects of different irrigation regimes on fruit production, oil quality, water use efficiency and agronomic nitrogen use efficiency of pumpkin. Journal of Agroecology 7 (1): 99-108. (in Persian with English abstract).
13. Hemantaranjan, A. 1996. Physiology and biochemical significance of zinc in plants. Advancement in Micronutrient Research, Scientific publishers, Jodhpurs, Rajasthan, India, pp. 151-178.
14. Hojati, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Karimi, M., and Ghanati, F. 2011. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. Acta Physiologiae Plantarum 33 (1): 105.
15. Irigoyen, J. J., Emerich, D. W., and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago Sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 67-72.
16. Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Soil fertility and biofertilizers. Ferdowsi University of Mashhad Press. Pp. 250. (in Persian).
17. Kadkhodaei, A., and Ehsanzade, P. 2011. Grain yield, leaf chlorophyll, proline and soluble carbohydrates content of linseed under different irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science 42 (1):5-131.

18. Kafi, M., and Rostami, M. 2007. Yield characteristics and oil content of three safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars under drought in reproductive stage and irrigation with saline water. Iranian Journal of Field Crops Research 5: 1-132. (in Persian with English abstract).
19. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, A. 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plant. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Iran. 502 pp. (in Persian).
20. Kamaraki, H., and Galavi, M. 2012. Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Agroecology Journal 4 (3): 201-206. (in Persian with English abstract).
21. Kameli, A., Losel D. M. 1996. Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. New Phytologist 132: 57-62.
22. Khalafallah, A. A., and Abo-Ghalia, H. H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4 (5):559-569.
23. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008. Influence of biologic fertilizers on growth indices of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Field Crops Research 6 (2):285-294. (in Persian with English abstract).
24. Kumar, V., and Spencer, M. E. 1992. Nucleotide sequence of an osmotin cDNA from the Nicotiana tabacum cv. white burley generated by the polymerase chain reaction. Plant Molecular Biology 9: 781-792.
25. Lal, A., and Edwards, G. E. 1996. Analysis of inhibition of photosynthesis under water stress in the C_4 species *Amaranthus cruentus* and *Zea mays*: electron transport, CO_2 fixation and carboxylation capacity. Australian Journal of Plant Physiology 23: 403-4.
26. Maghami, R., Zahedi, M., and Gheysari, M. 2014. Effects of nitrogen application and irrigation water on grain yield and water use efficiency of safflower in Isfahan. Journal of Plant Production and Processing 4 (11): 1-13. (in Persian with English abstract).
27. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London. 889 pp.
28. Masoud sinaki, S., Majidi Heravan, E., Shirani Red, H., Noormohammadi, G., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola. American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 2 (4):417-422.
29. Masoudi- Sadaghiani, F., Abdollahi Mandoulakani, B., Zardoshti, M. R., Rasouli Sadaghiani, M. H., and Tavakoli, A. 2011. Response of proline, souluble sugar, photosynthetitic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. Australian Journal of crop Science 5: 55-60.
30. Mehrabi, Z., and Ehsanzadeh, P. 2011. A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes. Journal of Crops Improvement 13 (2):75-88. (in Persian with English abstract).
31. Milady Lary, S., and Ehsanzadeh, P. 2010. The negative effect of drought on safflower grain yield through impact of photosynthetic efficiency and surfaces. Iranian Journal of Agricultural Sciences 41: 375-384. (in Persian with English abstract).
32. Mohsen Nia, O., and Jalilian, J. 2012. Effects of drought stress and fertilizer sources on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Agroecology Journal 4 (3): 235-245. (in Persian with English abstract).
33. Monica, R. C., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia 62: 161-165.
34. Monreal, J. A., Jimenez, E. T., Remesal, E., Morillo, R., and Garcia, S. 2006. Proline content of sugar beet storage roots: Response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions. Environmental and Experimental Botany 54: 672-685.
35. Movahhedi Dehnavi, M., Moddares Sanavi, A. M., Sorooshzadeh, A., and Jalali Javaran, M. 2004. Changes in proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) and chlorophyll fluorescence in winter safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and manganese. Desert 9 (1): 93-110. (in Persian with English abstract).
36. Nabipour, M., Meskarbashee, M., and Yosefpour, H. 2007. The Effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorrius* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences 10: 421-426.
37. Ninganoor, B. T., Parameshwarapa, K. G., and Chetti, M. B. 1995. Analysis of some physiological characters and their association with seed yield and drought tolerance in safflower genotypes. Karnataka Journal of Agricultural Sciences 8 (1): 46-49.
38. Noroozi, M., and Kazemeini, S. A. R. 2013. Effect of water stress and plant density on growth and seed yield of safflower. Journal of Field Crops Research 10 (4):781-788. (in Persian with English abstract).
39. Omidi, A., Mirzakhani, M., and Ardakani, M. R. 2014. Assessment of quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under the effect of Azotobacter and Mycorrhizal symbiosis. Journal of Agroecology 6 (2):324-338. (in Persian with English abstract).
40. Omidi, H., Naghdibadi, H. A., Golzad, A., Torabi, H., and Fotoukian, M. H. 2009. The effect of chemical andbio-

fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Medicinal Plants 8: 98-109. (in Persian with English abstract).
41. Omidi Tabrizi, A. H. 2012. Effect of drought stress at different growth stages on seed yield and some agro-physiological traits of three spring safflower cultivars. Seed and plant overproducing proline. Plant Science 167: 1375-1381. (in Persian with English abstract).
42. Pandey, A. C., Sanjay, S. S., and Yadav, R. S. 2010. Application of ZnO nanoparticlesin influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. Journal of Experience Nano science 5: 488-497.
43. Pasban Eslam, B. 2011. Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. Journal of Agricultural Sciences and Technology 13:327-338. (in Persian with English abstract).
44. Patakas, A. 2000. Changes in the solutes contributing to osmotic potential during leaf ontogeny in grapevine leaves. American Journal of Enology and Viticulture 51 (3): 223-226.
45. Paygzar, Y., Ghanbari, A., Heidari, M., and Tavassoli, A. 2009. Effect foliar of micronutrients on the quantitative and qualitative characteristics of millet under drought stress (*Pennisetum glacum*) species notified. Iranian Journal Agriculture Science 3 (10): 67-78. (in Persian with English abstract).
46. Raie, Y., Shareati, J., and Wisany, W. 2015. Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different Irrigation. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25 (1): 65-84. (in Persian with English abstract).
47. Rajinder, S. D., 1987. Glutathione status and protein synthesis during drought and subsequent dehydration in Torula rulis. Plant Physiolgy 83: 816-819.
48. Romheld, V., and Marchner, H. 1998. Mobilization of iron in the Philosophers of different plant species in advances in plant nutrition. www.springlink.com.
49. Ruiz-Lozano J.M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress, new perspectives for molecular studies. Mycorrhiza, 13:309-17.
50. Saeedi, G. H. 2008. The effect of some macro and microelements on grain yield and other agronomic characters on (*Sesamum indicum* L.) in Isfahan. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 45: 379-402. (in Persian with English abstract).
51. Saeidi Aboueshaghi, R., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., and Baluchi, H. 2014. Effect of irrigation intervals and foliar application of iron and zinc on some physiological and morphological characteristics of red bean (*Phaseolous vulgaris* L.). Journal of Plant Process and Function 3 (7): 27-42. (in Persian with English abstract).
52. Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, E., Sepehri, R., Najafian, G., and Haabani, A. 2011. The effect of terminal drought stress on physiological characteristics and source-sink relationship in two cultivar of wheat (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Agricultural Science (4): 392-408. (in Persian with English abstract).
53. Sajedi, N. A., Ardakani, M. R., Sajedi, A., Bahrami, A. 2010. Absorption of some nutrient as affected by mycorrhizae, different levels of zinc and drought stress in maize. Iranian Journal of Field Crops Research, 8 (5):784-791. (in Persian with English abstract).
54. Scott, D., J., da Costa, B. M., Espy, S. C., Keasling, J. D., and Cornish, K. 2003. Activation and inhibition of rubber transferases by metal cofactors and pyrophosphate substrates. Phytochemistry 64: 3-134.
55. Seyed Sharifi, R., and Khorramdel, S. 2014. Effects of nano-zinc oxide and seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, yield components and grain filling period of soybean (*Glycine max* L.). Iranian Journal of Field Crops Research. In Press. (in Persian with English abstract).
56. Sharma, A. K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrbis India, pp.407.
57. Sheykhbagloo, N., Hassanzadeh Gorttapeh, A., Baghestani, M., and Zand, B. 2009. Study the effect of zinc foliar application on the quantitative and qualitative yield of grain corn under water stress. Electronic Journal of Crop Production (2):59-74. (in Persian with English abstract).
58. Shojaei, H., and Makarian, H. 2014. The effect of nano and non-nano zinc oxide particles foliar application on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiate*) under drought stress. Journal of Iranian Field Crop Research (4): 727-737. (in Persian with English abstract).
59. Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, K., Messedi, D., Savoure, A., and Abdelly, C. 2007. Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. Environmental and Experimental Botany 61: 10-17.
60. Smith, S. E., and Read, D. J. 2008. Mycorrhiza Symbiosis. 3rd Ed., Academic Press, London.
61. Tavakoli, A. 2002. The evaluating effects of irrigation termination in different growth stages on yield and yield components of safflower cultivars. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Tehran University. (in Persian with English abstract).
62. Thomas, J., Mandal, A., Raj Kumar, R., and Chordia, A. 2009. Role of biologically active amino acid formulations on quality and crop productivity of tea (*Camellia* sp.). International Journal of Agricultural Research 4: 228-236.
63. Tohidi-Moghaddam, H., Sani, B., and Ghooshchi, F. 2004. The effect of nitrogen fixing and phosphate solubilizing microorganism on some quantitative parameters on soybean from sustainable agricultural point of views".

Proceeding of 8th Agronomy and Plant Breeding Congress of Iran, Guilan University, Iran.
64. Tousi, P., Tajbakhsh, M., and Esfahani, M. 2014. Effect of spray application of Nano-Fe chelate, amino acid compounds and magnetic water on protein content and fatty acids composition of oil of soybean (*Glycine max* L.) in different harvest time. Iranian Journal of Crop Sciences 16 (2): 5-136. (in Persian with English abstract).
65. Wu, Q. S., Xia, R. X., and Zou, Y. N. 2007. Osmotic solute responses of mycorrhizal *Citrus* (*Poncirus trifoliata*) seedlings to drought stress. Plant Physiology 29: 543-549.
66. Yaghoubian, Y., Pirdashti, H., Mohammadi Goltapeh, E., Feiziasl, V., Esfandiari, E. 2012. Investigation of dryland wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Azar II) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi under different levels of drought stress. Journal of Agroecology p. 63-73. (in Persian with English abstract).
67. Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. Plant Physiology p. 187-206.
68. Zuo, Y., and Zhang, F. 2011. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. Journal Plant Soil 339: 83-93.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 168-184

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۸۴-۱۶۸

Effects of Nano Chelated Zinc and Mycorrhizal Fungi Inoculation on Some Agronomic and Physiological Characteristics of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Drought Stress Conditions

E. Rezaei Chiyaneh[1*]- S. Khorramdel[2]- A. Movludi[3]- A. Rahimi[1]

Received: 14-09-2015
Accepted: 12-05-2016

Introduction

Zinc is an essential element for plants and animals and plays an important role in plants metabolic system. This element activates enzymes and involved in protein, lipids, carbohydrates and nucleic acid metabolism. Zinc has a major role in cell defenses against ROS and as a protective factor against several chemical compositions of oxidation such as membrane lipids, protein, chlorophyll, and enzyme having sulfhydryl and DNA. Zinc is an essential micronutrient that plays many important roles in various physiological and metabolic processes in all living organisms. It functions as a cofactor for over 300 enzymes and proteins involved in cell division, nucleic acid metabolism and protein synthesis.

Nanoparticles have received considerable attention due to their increased uptake and high rate of penetration in plants. Nanomaterials are classified as materials with at least one dimension less than 100 nm. Nonmaterial could to be applied in designing more soluble and diffusible sources of Zn fertilizer for increased plant productivity.

Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) an oilseed crop is a member of the family Compositae or Asteraceae. Safflower, a multipurpose crop that has been grown for centuries in India for the orange-red dye (carthamin) extracted from its brilliantly colored flowers and for its quality oil rich in polyunsaturated fatty acids (linoleic acid, 78%). Safflower flowers are known to have many medicinal properties for curing several chronic diseases, and they are widely used in Chinese herbal preparations.

The mycorrhizal symbiosis is arguably the most important symbiosis on earth. The majority of these mycorrhizal interactions is mutually beneficial for both partners and is characterized by a bidirectional exchange of resources across the mycorrhizal interface. The mycorrhizal fungus provides the host plant with nutrients, such as phosphate and nitrogen, and increases the abiotic (drought, salinity and heavy metals) and biotic (root pathogens) stress resistance of the host.

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of nano-zinc fertilizer and mycorrhizal fungi symbiosis on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions, an experiment was arranged as split plot based on randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, West Azarbaijan Province, Naghadeh city during growing season of 2013-2014. The main factor consisted of four irrigation levels (irrigation after 60, 110, 160 and 210 mm evaporation from pan) and sub factor included four fertilizer levels (nano fertilizer, mycorrhizal, mycorrhizal+nano fertilizer and control). Studied traits were number of head per plant, number of seed per head, 1000-seed weight, biological yield, seed yield, oil percentage, soluble sugars and proline contents.

For statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test (DMRT) were performed using SAS version 9.9 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Results and Discussion

The results declared that increasing drought stress decreased yield and yield components (such as number of head per plant, number of seed per head and 1000-seed weight) significantly. But, application of fertilizer

1- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Department of Medicinal Plants, Shahid Bakeri Higher Education Center of Miandoab, University of Urmia, Urmia, Iran
(*- Corresponding Author Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)

sources decreased the drought effects, so in irrigation levels, application of nano fertilizer, mycorrhizal and mycorrhizal+nano fertilizer increased these traits. The highest seed yield (2588 kg.ha^{-1}) was obtained in irrigation after 60 mm evaporation of pan with using mycorrhizal+nano fertilizer and the lowest amount (1836.6 kg.ha^{-1}) from irrigation after 210 mm evaporation of pan and control. Oil percentage decreased by increasing drought stress, but oil percentage with application of mycorrhizal+nano fertilizer significantly increased (11%) compared to control (without application fertilizers). Increasing drought stress and use of nano zinc fertilizer and mycorrhizal symbiosis, increased significantly soluble sugars and proline contents. Elicitation of results showed that inoculation of mycorrhizal under water stress conditions could be increase water and nutrients uptake by increasing uptake of root and could improve plant tolerance against to drought stress. On the other hand, given the role of zinc in plants in drought stress conditions, the existence enough amount of this nutrient is effective to adjust consistency.

Conclusions

The results of the study showed that the application of Nano chelated zinc fertilizer and mycorrhizal fungi had significant improvements on some physiological characteristics of safflower beside, yield and yield components also increased. Because of more zinc uptake and symbiosis with mycorrhizal fungi, water and minerals uptake increased thus decreased negative effects of drought stress. Due to global attention to sustainable agriculture, environment and human health, nanotechnology and biofertilizers can be as alternative fertilization methods. According to recent years conditions as decline in groundwater, reduce rainfall and water shortages, revising oilseeds nutritional management is necessary.

Keywords: Biological fertilizer, Nano technology, Proline, Seed yield, Soluble sugars