نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره 4(60)، زمستان 1400، صفحه 492-467

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2022.689790

اثر ازتوباکتر و سطوح کود شیمیایی نیتروژن روی صفات آگروفیزیولوژیک و عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) در شرایط متفاوت رطوبتی

عباس سلیمانی‌فرد[1و2]، مانی مجدم[2*]، شهرام لک[2] و مجتبی علوی‌فاضل[2]

تاریخ دریافت: 1398/8/22 **تاریخ بازنگری:** 1398/12/18 **تاریخ پذیرش:** 1399/5/30

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد دانه شش ژنوتیپ گلرنگ در شرایط تنش خشکی و بدون تنش در دو آزمایش مستقل، هر یک به‌صورت آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی 95- 1394 و 96-1395 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله اجرا شدند. یکی از آزمایش‌ها تحت شرایط بدون تنش آبیاری بر اساس نیاز گیاه و آزمایش دیگر به صورت تنش خشکی بدون هیچ گونه آبیاری و صرفاً با استفاده از نزولات آسمانی انجام گردید. میزان کل بارش در طی دوره رشد گیاه در سال‌های 95-1394 و 96-1395 به‌ترتیب 410/7 و 388/5 میلی‌متر بودند که با توزیع نامناسب در طی فصل رشد اتفاق افتادند. تیمارهای آزمایشی، فاکتور اول شامل شش ژنوتیپ گلرنگ و فاکتور دوم شامل تلقیح بذر با ازتوباکتر همراه با مصرف کود شیمیایی اوره در چهار سطح بدون مصرف هیچ منبع کودی (شاهد)، تلقیح بذر با ازتوباکتر، تلقیح بذر با ازتوباکتر+ 50 درصد نیتروژن از منبع اوره و 100 درصد نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره بر اساس نتایج آزمایش خاک، بودند. نتایج نشان داد اثر منبع نیتروژن و ژنوتیپ در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش بر روی کلیه صفات مورد بررسی در این آزمایش معنی‌دار بود. در شرایط تنش خشکی بیشترین عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ سینا در تیمارهای کاربرد 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلفیقی ازتوباکتر+ 50درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن (به ترتیب با میانگین 1408 و 1336 کیلوگرم در هکتار) برآورد شدند، که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در شرایط بدون تنش بیشترین عملکرد دانه به تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و ژنوتیپ PI-306974 با میانگین 2185 کیلوگرم در هکتار اختصاص داشت. در نتیجه، در شرایط بدون تنش ژنوتیپ PI-306974 با مصرف 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن جهت حصول حداکثر عملکرد گلرنگ و تحت شرایط تنش خشکی کشت ژنوتیپ سینا با کاربرد 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن به همراه ازتوباکتر می‌تواند در منطقه آزمایش به کار روند.

واژگان کلیدی: تنش خشکی، تعداد غوزه در بوته، کلروفیل، عملکرد دانه.

1- گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

2- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاداسلامی، اهواز، ایران.

* نگارنده‌ی مسئول manimojaddam@yahoo.com

مقدمه

گلرنگ از جمله گیاهانی است که می‌تواند نقش به‌سزایی در تامین روغن مورد نیاز کشورها ایفا نماید. این گیاه دارای خصوصیات ارزشمندی از جمله سازگاری با شرایط اقلیمی خشک ونیمه خشک و کیفیت بالای روغن است. (Omidi et al., 2012). گیاهان تحت شرایط طبیعی و زراعی به‌طور پیوسته در معرض تنش‌های گوناگون قرار دارند و در این میان، کمبود آب مهم‌ترین عامل محدود کننده عملکرد محصولات زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران می‌باشد (Akbari et al., 2016). نیتروژن نخستین عنصر غذایی است که کمبود آن در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک دیده می‌شود، و یکی از عوامل مؤثر در بهبود عملکرد دانه گلرنگ، استفاده موثر از کود شیمیایی نیتروژن است (Taleshi et al., 2012). از طرفی، تأمین نیتروژن از طریق مصرف زیاد کودهای شیمیایی یکی از دلایل اصلی آلودگی چرخه آب در طبیعت بوده و علاوه بر این تولید آن نیز پرهزینه می‌باشد، در حالی که جایگزینی آن با استفاده از تثبیت بیولوژیکی نیتروژن نقش مهمی در کاهش هزینه‌های استفاده از کود شیمیایی نیتروژن و سلامتی محیط زیست ایفا می‌کند (Walker et al., 2011؛ Filgueiras and Meneses, 2015). فرآیندهایی که باکتری‌های افزاینده رشد گیاه جهت افزایش رشد به کار می‌برند به طور کامل شناخته نشده است ولی در حالت کلی می‌توان به قابلیت تولید برخی هورمون‌های محرک رشد مانند ایندول استیک اسید و سیتوکینین، مشارکت در تثبیت زیستی نیتروژن، مبارزه با پاتوژن‌های گیاهی و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه اشاره نمود (Ali, 2015). طول دوره رشد و زمان وقوع مراحل فنولوژیک گیاهان در عین حال که یک صفت ژنتیکی است، تحت تأثیر محیط و عوامل مدیریتی نیز قرار می‌گیرد. زمان سبز شدن، ظهور غوزه، گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک دانه از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک نمو گلرنگ و اهمیت ویژه‌ای در تعیین عملکرد دانه گلرنگ دارند (Shahsavari, 2012). یوسف‌پور و همکاران (Yousefpoor et al., 2014) در بررسی بر روی گیاه آفتابگردان گزارش کردند، کودهای شیمیایی و زیستی از طریق افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی باعث افزایش رشد رویشی گیاه شده و با حفظ دوام و شاخص سطح برگ، امکان تولید مواد فتوسنتزی بیشتر جهت پر شدن دانه را فراهم می‌کنند، که این مسئله به طولانی‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه و تأخیر در رسیدگی فیزیولوژیک منجر می‌شود. واردهارجیلا و همکاران (Vardharajula et al., 2011) گزارش کردند تلقیح گیاه با باکتری‌های افزاینده رشد در مقایسه با تیمار عدم تلقیح گیاه موجب کاهش نشت‌پذیری غشاء می‌گردد. آنها این کاهش نشت‌پذیری غشاء را در تیمارهای تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد به دلیل کاهش در تاثیر بازدارندگی تنش خشکی روی ریشه و توسعه بیشتر سیستم ریشه برای جذب آب عنوان کردند. حشمتی و همکاران (Heshmati et al., 2017) گزارش کردند در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی به کارگیری کود زیستی و شیمیایی نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار میزان روغن و عملکرد روغن گیاه گلرنگ شد.

با توجه به خشک بودن ایران از لحاظ اقلیمی از یک سو و اهمیت کشت دانه‌های روغنی و همچنین توجه به کشت این گیاهان در نظام‌های کم نهاده، این تحقیق با هدف مطالعه اثر ازتوباکتر در تلفیق با مقادیر مختلف کود شیمیایی

نیتروژن بر روند تغییرات صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و کیفی ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط بدون تنش (آبیاری مطلوب) و تنش خشکی (دیم) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی 95- 1394 و 96- 1395 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله واقع در 30 کیلومتری شمال شرقی استان ایلام با اقلیم نیمه خشک معتدل اجرا شد. محل آزمایش در عرض جغرافیایی 33 درجه و 47 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 46 درجه و 36 دقیقه شرقی با ارتفاع 975 متر از سطح دریا و دارای متوسط بارندگی سالیانه 402 میلی‌متر است. میانگین ماهانه دما، بارندگی و رطوبت نسبی در سال‌های زراعی 95- 1394 و 96- 1395 در جدول 1 ارایه شده است. معیار تعیین تنش خشکی در شرایط دیم این آزمایش میزان تبخیر وتعرق گلرنگ نسبت به میزان بارش بود، که با استفاده از روابط زیرمحاسبه گردید:

رابطه 1: $ET0=KP\times ETP$

رابطه 2: $ETC0= KC \times ET0$

در این روابط ET0: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، KP: ضریب تشتک A (0/7)، ETP: میزان تبخیر روزانه از تشتک، ETC0: تبخیر و تعرق محصول و KC: ضریب گیاهی گلرنگ بر اساس اعلام فائو (1/2) که طی سال زراعی 95-1394 در ماهای اردیبهشت و خرداد تبخیر و تعرق این گیاه به‌ترتیب برابر 140 و 262 میلی‌متر در ماه و در سال 95- 1396 برابر 155 و 256 میلی‌متر در ماه بود. در شرایط دیم، میزان بارندگی در این ماه‌ها خیلی کمتر از این مقدار است. بنابراین این گیاه در شرایط دیم منطقه در ماه اردیبهشت مصادف با کد 55 از مقیاس توسعه یافته BBCH (Flemmer et al., 2015) تا زمان برداشت گیاه گلرنگ در تیرماه با تنش کم آبی مواجه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش طی دو سال آزمایش در جدول 2 ارایه شده است.

این تحقیق به صورت دو آزمایش مستقل در شرایط تنش خشکی و بدون تنش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در هر آزمایش اجرا شد. در آزمایش تنش خشکی صرفاً به استفاده از نزولات آسمانی اکتفا گردید. در آزمایش بدون تنش (آبیاری مطلوب) برای تعیین زمان مناسب آبیاری از تشتک تبخیر کلاس A استفاده شد. به‌طوری‌که 5±75 میلی متر تبخیر از سطح تشتک زمان آبیاری تیمارهای شرایط آبی بود. فاکتورهای آزمایش شامل شش ژنوتیپ گلرنگ (312-S6-697, PI-401478, PI-253895, PI-306974، پدیده و سینا) و فاکتور ترکیبی از تلقیح بذر با ازتوباکتر همراه با مصرف کود اوره در چهار سطح شامل 1- بدون مصرف هیچ منبع کودی (شاهد) 2- تلقیح بذر با ازتوباکتر+ عدم مصرف کود اوره 3- تلقیح بذر با ازتوباکتر+ 50 درصد نیتروژن از منبع اوره و 4- 100 درصد نیتروژن از منبع کود اوره بر اساس توصیه آزمایش خاک را شامل می‌شد.

زمین محل اجرای آزمایش در مهرماه هر دو سال آزمایش شخم عمیق زده شد و در اوایل آبان ماه عملیات آماده‌سازی تکمیلی زمین انجام شد. هر کرت آزمایش شامل شش خط کاشت با فاصله خطوط 30 سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها 10 سانتی‌متر و طول هر خط کاشت 4 متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها 50 سانتی‌متر و بین بلوک‌ها فاصله دو متر در نظرگرفته شد. با توجه

به نتایج تجزیه خاک در هر دو سال آزمایش، 25 کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات در زمان کشت به خاک اضافه شد و نیازی به استفاده از کود شیمیایی پتاسیم نبود. همچنین، کود نیتروژن از منبع اوره در هر دو سال آزمایش تامین گردید، در رابطه با نیتروژن (کود اوره) با توجه به اندازه کرت‌ها (مساحت هر کرت 7/2 مترمربع) و بر اساس آزمون خاک در شرایط بدون تنش (آبیاری نرمال) و تنش خشکی برای اعمال سطوح صفر، 50 و 100 درصد نیتروژن به ترتیب مقادیر 47 و 94 گرم کوده اوره برای شرایط بدون تنش و 24 و 47 گرم توزین گردید و در زمان کاشت در کرت های مورد نظر به صورت پایه و نیم دیگر نیز به‌صورت سرک در مرحله ساقه‌دهی استفاده گردید. برای تلقیح بذرها میزان هفت میلی‌لیتر مایه تلقیح که هر میلی‌لیتر آن دارای 10^8 عدد باکتری زنده و فعال، با آب شکر به غلظت 20 درصد و به نسبت 2 کیلوگرم ماده تلقیح در 100 کیلوگرم بذر با بذرها آغشته شد. پس از آغشته کردن بذور با باکتری ازتوباکتر کروکوکوم کار چرخاندن ظرف به مدت چند دقیقه ادامه یافت تا مایه تلقیح به کمک محلول آب شکر به خوبی سطح بذور را پوشش دهد. سپس بذور هر کرت پس از توزین در کیسه‌های پلاستیکی ریخته و آماده کشت گردیدند. کاشت بذور در سال‌های زراعی 95- 1394 و 96- 1395 به‌ترتیب در تاریخ‌های 20 و 25 آبان ماه انجام شد. برای تعیین صفات فنولوژیک گیاه شامل تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی، بر اساس بازدید از گیاهان علامت‌دار و بر اساس ورود حداقل 50 درصد گیاهان به این مراحل ثبت شد.

دو هفته بعد از غوزه‌دهی، تعداد 5 برگ از هر کرت انتخاب و محتوای نسبی آب برگ (RWC) از طریق رابطه زیر در آنها محاسبه گردید (Soomro et al., 2011):

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$ رابطه3:

در این رابطه FW: وزن تر برگ، DW: وزن خشک برگ و TW: وزن آماس برگ بودند.

محتوای کلروفیل کل (a+b) دو هفته بعد از شروع مرحله غوزه‌دهی با نمونه برداری از پنج عدد برگ تازه در هر کرت و به روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه زیر غلظت کلروفیل a+b بر حسب میلی‌گرم بر گرم برگ تازه به‌دست آمد. در رابطه زیر V حجم نمونه استخراج شده و W وزن تر نمونه است.

$$Chl\ a+b = \frac{[20.2(D645)-8.02(D663)]\times V}{1000W}$$ رابطه4:

دو هفته بعد از شروع مرحله غوزه‌دهی از پنج عدد برگ تازه در هر کرت نمونه برداری انجام گرفت، سپس این قطعات بعد از شستشو با آب مقطر درون لوله‌های فالکون قرار داده و 10 میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید. سپس به مدت 2 ساعت درون حمام آب گرم با دمای 32 درجه‌ی سلسیوس قرار داده و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1) اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در دمای 121 درجه سلسیوس به مدت 20 دقیقه در داخل اتوکلاو قرار گرفته میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) مجدداً اندازه‌گیری و با رابطه زیر درصد نشت یونی محاسبه شد (Ben Hamed et al., 2007).

$$\text{نشت یونی}(\%) = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$ رابطه 5:

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از محاسبه کاهش جذب H_2O_2 در 240 نانومتر انجام

شد. میزان فعالیت آنزیم با واحد $\Delta OD240.min^{-1}.fr.wt.mg^{-1}$ بیان گردید (Bradford, 1976).

با مشاهده علایم رسیدگی، 10 بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت آزمایش برداشت و تعداد غوزه در بوته اندازه گیری شد. برداشت و تعیین عملکرد دانه با حذف دو خط کناری و 50 سانتی‌متر از طرفین، از دو خط میانی به طول چهار متر انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان روغن دانه، از هر کرت آزمایشی، صد گرم دانه جدا و با استفاده از روش سوکسله میزان روغن دانه تعیین شد (AOAC, 1995). جهت آزمون همگنی واریانس‌ها از آزمون بارتلت استفاده شد. بر اساس نتایج آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب در زمان با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. در تجزیه مرکب، آزمون F برای معنی‌دار بودن منابع تغییر با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات با فرض ثابت بودن اثر تیمارهای آزمایشی و تصادفی بودن اثر سال صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها در شرایط بدون تنش (آبیاری مطلوب) نشان داد که اثر سال بر هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های گلرنگ معنی‌دار نبود. اثر منبع نیتروژن و ژنوتیپ بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. اثر متقابل سال×منبع نیتروژن بر تعداد روز تا گل‌دهی، روز تا رسیدگی، کلروفیل کل، درصد روغن و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سال×ژنوتیپ بر کلروفیل کل و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر محتوای نسبی آب برگ و تعداد غوزه در بوته در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل منبع نیتروژن×ژنوتیپ بر کلروفیل کل، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، تعداد غوزه در بوته و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جداول 3و 4). مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها نشان داد در شرایط بدون تنش (آبیاری مطلوب) بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی به‌ترتیب با 203 و 224 روز مربوط به ژنوتیپ PI-306974 بود. کمترین تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی نیز به‌ترتیب با 196 و 217 روز به ژنوتیپ PI-401478 اختصاص داشت (جدول 5). تفاوت بین ژنوتیپ‌های گلرنگ از نظر طول دوره گل‌دهی و رسیدگی ناشی از تفاوت آنها از نظر نیاز حرارتی و تعداد روزهای لازم برای وارد شدن به مرحله رسیدگی می‌باشد (Mohammadi et al., 2014). مقایسه میانگین اثر متقابل سال در منبع نیتروژن در شرایط بدون تنش (آبیاری مطلوب) نشان داد، بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی به تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در سال اول و کمترین تعداد روز تا گل‌دهی به تیمارهای شاهد و تلقیح با ازتوباکتر در سال اول مربوط بود (جدول7). تعداد روز تا رسیدگی در شرایط بدون تنش با استفاده از کود شیمیایی نیتروژن نیز روند افزایشی داشته است. میرزاخانی (Mirzakhani, 2017) نیز در مطالعات خود بر روی گیاه گلرنگ در شرایط بدون تنش نتیجه گرفت هرگاه مقادیر کافی از نیتروژن در اختیار گیاه قرار گیرد، گیاه می‌تواند مقدار قابل توجهی رشد رویشی نموده و با ذخیره مناسبی از کربوهیدرات وارد فاز زایشی گردد که این مسئله می‌تواند به طولانی‌تر شدن دوره گل‌دهی و تأخیر در رسیدگی فیزیولوژیک منجر شود. در شرایط بدون تنش مقایسه میانگین اثر متقابل منبع

نیتروژن× ژنوتیپ نشان داد بیشترین میزان کلروفیل کل از تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در ژنوتیپ PI-306974 حاصل شد (جدول 9). که ژنوتیپ PI-306974 دارای قابلیت جذب نیتروژن بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بود. بنابراین، به واسطه ارتباط مستقیم بین غلظت نیتروژن و کلروفیل برگ، افزایش در میزان نیتروژن گیاه، مقدار کلروفیل را هم افزایش می‌دهد.

مقایسه میانگین اثر متقابل منبع نیتروژن در ژنوتیپ در شرایط بدون تنش نشان داد بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ و کمترین میزان نشت یونی از ژنوتیپ PI-306974 در تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن حاصل شد. کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ و بیشترین نشت یونی از ژنوتیپ PI-401478 در تیمار شاهد به دست آمد (جدول 9). این امر نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش ژنوتیپ PI-306974 ضمن حفظ محتوای نسبی آب، دارای نشت یونی کمی می‌باشد که نشان دهنده اهمیت این ژنوتیپ در حفظ پتانسیل آب موجود در شرایط بدون تنش، در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها است. مصرف 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن در ژنوتیپ PI-306974 و ارقام پدیده و سینا میزان محتوای نسبی آب برگ را نسبت به تیمار تلفیقی 50 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن + ازتوباکتر به طور معنی‌داری افزایش داد در حالی که مصرف 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن در ژنوتیپ‌های 312-S6-692، PI-401478 و PI-253895 نسبت به تیمار تلفیقی ازتوباکتر+ 50 درصدکود شیمیایی نیتروژن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول 9). تفاوت در میزان محتوای نسبی آب برگ ممکن است به تفاوت توانایی ژنوتیپ‌های مختلف در جذب بیشتر آب از خاک و یا توانایی کنترل آب از طریق روزنه‌ها نسبت داده شود. همچنین، این تفاوت ممکن است ناشی از تفاوت توانایی ژنوتیپ‌ها در تنظیم اسمزی، به‌منظور توانایی حفظ فشار تورژسانس بافت‌ها و فعالیت‌های فیزیولوژیکی باشد (Tarighaleslami et al., 2017). بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط بدون تنش به تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلقیح با ازتوباکتر+50 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن اختصاص داشت و کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در این شرایط به تیمارهای عدم مصرف کود و تلقیح با ازتوباکتر مربوط بوده است که اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند (جدول 6). این امر مبین آن است که تیمار تلقیح با ازتوباکتر در شرایط بدون تنش تأثیری بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه گلرنگ ندارد، این موضوع با نتایج گورانی و همکاران (Gururani et al., 2015) که گزارش کردند باکتری‌های PGPR تنها در شرایط تنش موجب افزایش بیان ژن مسئول کد گذاری آنزیم‌های آنتی اکسیدان می‌شوند، مطابقت دارد. میانگین‌ها در شرایط بدون تنش نشان داد رقم سینا و ژنوتیپ PI-306974 به‌ترتیب با 2/648 و 2/644 $\Delta OD240.min^{-1}.mg^{-1}.fr.wt$ دارای بیشترین میزان فعالیت آنزیمی بودند (جدول 6). مقایسه میانگین اثر متقابل منبع نیتروژن در ژنوتیپ در جدول 9 نشان می‌دهد در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی با مصرف کود شیمیایی نیتروژن، تعداد غوزه در بوته افزایش می‌یابد. بیشترین تعداد غوزه در بوته در تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در ژنوتیپ PI-306974 مشاهده شد. کمترین تعداد غوزه در بوته نیز به ژنوتیپ PI-401478 در تیمار

شاهد اختصاص داشت (جدول 9). بالا بودن تعداد غوزه در بوته در تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن می‌تواند به‌دلیل تولید ماده خشک بیشتر و پتانسیل تولید غوزه در این تیمار در شرایط آبی باشد. ناصری و میرزایی (Naseri and Mirzaei, 2010) گزارش کردند که با افزایش کود نیتروژن بر تعداد غوزه در بوته گلرنگ افزوده شده است. میانگین‌های ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط بدون تنش از نظر صفت درصد روغن دانه نشان داد، بیشترین درصد روغن (30/47 درصد) برای ژنوتیپ PI-253895 حاصل شد (جدول 6). قربانزاده نقاب و همکاران (Ghorbanzadeh Neghab et al., 2014) دریافتند که بیشترین درصد روغن دانه به‌دست آمده از برخی ارقام گلرنگ ممکن است به‌دلیل تفاوت در ویژگی‌های ژنتیکی ارقام باشد. از جمله دلایل تغییرات کم درصد روغن در ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ وراثت کمی آنها است که با تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و بنابراین احتمال تغییر و یا تأثیر ژن‌های کنترل کننده بسیار بعید است. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سال×منبع نیتروژن برای درصد روغن دانه تحت شرایط بدون تنش مشخص کرد که در هر دو سال، مصرف 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن کمترین درصد روغن دانه و تیمار عدم مصرف منبع کودی (شاهد) در سال دوم بیشترین درصد روغن دانه را دارا بودند (جدول 7). این امر به علت آن است با افزایش مقدار نیتروژن مواد فتوسنتزی بیشتری به ساخت پروتئین اختصاص می‌یابد و در نتیجه سوبسترای کافی جهت ساخت روغن در دسترس نخواهد بود و درصد روغن کاهش می‌یابد (Kutcher et al., 2005). بر اساس گزارش فولادوند و یدوی (Fuladvand and Yadavi, 2015) وجود رابطه منفی بین میزان مصرف کود نیتروژن با درصد روغن دانه گلرنگ نیز کاملاً آشکار بود.

میانگین اثر متقابل دو ساله منبع نیتروژن در ژنوتیپ نشان داد، بیشترین عملکرد به تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در ژنوتیپ PI-306974 متعلق بود (جدول 9). همچنین، در جدول 9 ملاحظه می‌گردد در تیمار عدم مصرف کود و ازتوباکتر بین رقم پدیده و ژنوتیپ PI-306974 تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه وجود نداشت ولی وقتی 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن و تلفیقی از ازتوباکتر+ 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن استفاده شد، عملکرد دانه در ژنوتیپ PI- 306974 به‌ترتیب به میزان 5/8 و 10/7 درصد نسبت به رقم پدیده افزایش معنی‌داری یافت. نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ PI-306974 در شرایط آبی ممکن است در شرایط تغذیه‌ای محدود واکنش نشان ندهد و برای دستیابی به عملکرد بالا نیاز به مصرف مواد غذایی بیشتری داشته باشد. ظهور پتانسیل ژنتیکی ارقام گیاهان زراعی در صورت وجود منابع تغذیه‌ای گزارش شده است (Enayatgholizadeh et al., 2011). در شرایط آبی، کاربرد 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن با فراهم بودن رطوبت، سبب بهبود در رشد و به طور کلی افزایش عملکرد دانه‌ی تولیدی گردید. ژنوتیپ PI-306974 در شرایط آبی، بیشترین تعداد روز تا رسیدگی را نیز دارا بود. این امر مبین آن است که در محیط‌های مساعد ژنوتیپ‌هایی که از طول دوره رشد بالاتری برخوردار باشند، می‌توانند مقدار بیشتری مواد فتوسنتزی را به مخازن انتقال داده و نهایتاً عملکرد دانه بالایی داشته باشند (Mohammadi, 2014).

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش در شرایط تنش خشکی نشان داد که اثر سال بر صفات تعداد روز تا گل‌دهی، روز تا رسیدگی، کلروفیل کل، نشت یونی و کاتالاز در سطح احتمال یک درصد، بر صفات تعداد غوزه در بوته، درصد روغن و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. منبع نیتروژن و ژنوتیپ بر روی تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار بودند. اثر متقابل سال× منبع نیتروژن بر محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، تعداد غوزه در بوته و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سال×ژنوتیپ تنها بر صفت درصد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل منبع نیتروژن×ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر محتوای نسبی آب برگ و تعداد غوزه در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سال×منبع نیتروژن×ژنوتیپ تنها بر صفات تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی و کلروفیل کل معنی‌دار بود (جداول 3 و 4).

مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه در شرایط تنش خشکی نشان داد که بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی از ژنوتیپ‌های -312 S6-692 و PI-306974 تحت کاربرد 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن به ترتیب با میانگین‌های 191 و 192 روز، 215 و 216 روز در سال اول حاصل شد. کمترین تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی از رقم سینا در تیمار تلقیح با ازتوباکتر در سال دوم به ترتیب با میانگین‌های 166 و 183 روز حاصل شد که علت این مشاهده، کوتاه شدن طول دوره رشد نمو گیاه، با استفاده از راهبرد فرار از خشکی در رقم جدید سینا است. اکبری و همکارن (Akbari et al., 2010) نیز گزارش کردند که ازتوباکتر با سازوکار تولید هورمون‌های تحریک کننده رشد موجب کاهش دوره رشد رویشی و در نتیجه تسریع در مرحله گل‌دهی و رسیدگی گیاه آفتابگردان می‌گردد که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. با مصرف 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن بر تعداد روز تا گل‌دهی افزوده شده است. که این امر نشان‌دهنده آن است که افزایش نیتروژن سبب افزایش میزان پروتئین و پروتوپلاسم می‌شود. در نتیجه افزایش اندازه سلول، سطح برگ بزرگ‌تر شده، بنابراین فعالیت فتوسنتزی بیشتر می‌گردد و تأثیر همه جانبه آن منجر به رشد رویشی و به تعویق افتادن تعداد روز تا گل‌دهی می‌شود (Moafi and Teymiri, 2009). روند تغییرات صفات تعداد روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی در هر دو سال آزمایش در شرایط تنش خشکی نشان داد رقم سینا و ژنوتیپ 312-S6-692 به‌ترتیب در هر چهار تیمار منبع نیتروژن کمترین و بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی را دارا بودند. همان‌طورکه از جدول 1 استنباط می‌شود، میزان بارندگی مناسب در اوایل فروردین ماه در سال اول آزمایش تحت شرایط تنش خشکی سبب گردیده است تا ضمن افزایش طول دوره رویشی، تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی نیز افزایش معنی‌داری در سال اول داشته باشد. فرجی (Faraji, 2010) در بررسی بر روی گیاه کلزا گزارش کرد که فنولوژی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر عوامل محیطی و شرایط مختلف آب و هوایی طی سال‌های متفاوت قرار می‌گیرد. ژنوتیپ PI-306974 در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی دارای دوره گل‌دهی و رسیدگی طولانی بود، بنابراین، این ژنوتیپ به‌عنوان یک ژنوتیپ دیررس محسوب می‌گردد. میانگین تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی

در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش به‌ترتیب 11 و 10 درصد کاهش یافت (جدول 5)، که این امر نشان می‌دهد در شرایط بدون تنش، گیاه از منابع محیطی بهتر استفاده نموده و افزایش تولید فتوآسیمیلات‌ها در این شرایط، ذخیره کافی برای ادامه رشد را فراهم کرده و با به تأخیر افتادن دوران زایشی گیاه، دوره رشد گیاه افزایش یافته (Goldani and Rezvani, 2007) و در نتیجه، تعداد روز تا رسیدگی نسبت به شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. کاهش تعداد روز تا رسیدگی در شرایط تنش خشکی در واقع یک سازوکار فیزیولوژیکی محسوب می‌شود که گیاه حفظ بقاء و ادامه نسل خود را بر ادامه رشد و تولید بیشتر ترجیح می‌دهد. اثر متقابل سه گانه سال × منبع نیتروژن × ژنوتیپ بر میانگین کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی نشان داد بیشترین میزان کلروفیل کل با میانگین 12/69 میکروگرم بر میلی‌لیتر به رقم سینا در 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در سال اول اختصاص داشت (جدول 10). در سال دوم تمامی تیمارهای منبع نیتروژن دارای کلروفیل کمتری نسبت به سال اول آزمایش در شرایط تنش خشکی بودند. دلیل این امر را می‌توان کمبود رطوبت جهت جذب نیتروژن در نتیجه افزایش پتانسیل اسمزی محیط ریشه در سال دوم آزمایش دانست. افزایش کاربرد نیتروژن باعث افزایش مقادیر کلروفیل کل در تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش خشکی گردید. تأثیر مثبت استفاده از 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در رقم سینا در شرایط تنش خشکی بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. به نظر می‌رسد که استقرار و رشد زودتر رقم سینا در ابتدای فصل رشد، سبب استفادهٔ بیشتر از شرایط مساعد محیطی شده و از طرف دیگر، کلروفیل در این رقم کمتر تحت تأثیر تنش رطوبتی در شرایط تنش خشکی در اواخر فصل رشد قرار گرفته باشد. در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، گزارش شده است که مصرف کود نیتروژن محتوای کلروفیل برگ را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. میانگین کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش 11/16 درصد کاهش یافت (جدول 5). کاهش کلروفیل تحت تأثیر تنش رطوبتی توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است (Fernanda et al., 2017؛ Manivannan et al., 2015). یکی از دلایل کاهش کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش انتقال مواد معدنی و عناصر ضروری برگ در اثر کاهش مکش ناشی از کاهش محتوای نسبی آب در برگ می‌باشد که باعث می‌شود سنتز کلروفیل با محدودیت مواجه شود (Fernanda et al., 2017). کمترین درصد کاهش میزان کلروفیل کل در بین تیمارهای منبع نیتروژن به تیمار تلفیقی ازتوباکتر+ 50 درصد مصرف کود شیمیای نیتروژن و تیمار تلقیح با ازتوباکتر اختصاص داشت (جدول 5). این وضعیت حاکی از اثرات مفید تلقیح باکتری بر افزایش محتوای کلروفیل است. گلیک (Glick, 2014) اظهار داشت افزایش سطوح اتیلن توسط تنش خشکی می‌تواند منجر به پیری برگ گردد، ولی در حضور باکتری‌های حاوی ACC دی آمیناز، ساخت اتیلن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. بنابراین، تجزیه کلروفیل کاهش می‌یابد. بیشترین درصد تغییرات کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش به ژنوتیپ 312-S6-692 اختصاص داشت (جدول 5)، به نظر می‌رسد به دلیل پایین بودن میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در این ژنوتیپ رادیکال‌های آزاد ناشی

از تنش خشکی باعث کاهش بیشتر کلروفیل کل در ژنوتیپ 312-S6-692 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها گردید، زیرا آنزیم کاتالاز در حفاظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی در مقابل عوامل رادیکال‌های آزاد تولید شده بر اثر خشکی در دیم‌زارها نقش اساسی دارد (Hassanpour Lescokelaye et al., 2015).

مقایسه میانگین اثر متقابل سال × منبع نیتروژن در شرایط تنش خشکی نشان داد بیشترین میزان محتوای نسبی برگ در هر دو سال آزمایش به تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن متعلق بود که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. کمترین میزان نشت یونی به تیمارهای 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلفیقی ازتوباکتر+ 50 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در سال اول و تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در سال دوم مربوط بود و این سه تیمار از نظر آماری در یک گروه یکسان قرار گرفتند (جدول 7) که این امر مؤید آن است که افزایش کاربرد نیتروژن از طریق افزایش سنتز پروتئین و افزایش ضخامت دیواره سلولی باعث جذب بیشتر آب توسط پروتوپلاسم، بهبود محتوای نسبی آب برگ و کاهش نشت یونی می‌شود (Namvar and Khandan, 2015). نامور و همکاران (Namvar et al., 2013) در بررسی بر روی گیاه نخود گزارش نمودند گیاهانی که کود نیتروژن بیشتری دریافت کردند از رطوبت نسبی برگ بیشتری برخوردار بودند و دلیل این امر را توانایی بالاتر حفظ پتانسیل فشاری برگ این گیاهان دانستند که با نتیجه این آزمایش مطابقت داشت. درحالی که جلیلیان و همکاران (Jalilian et al., 2010) گزارش نمودند که کاربرد مقادیر بالای نیتروژن با تأثیر بر رشد رویشی و افزایش شاخص سطح برگ موجب کاهش محتوای نسبی آب در واحد سطح برگ می‌شود که با نتیجه این آزمایش مغایرت داشت. مولودی و همکاران (Movludi et al., 2013) نیز در تحقیقی بر روی جو بهاره گزارش کردند که کمترین محتوای نسبی آب برگ و میزان پایداری غشاء (بیشترین نشت یونی) مربوط به تیماری بوده است که در شرایط خشکی قرار داشته و میزان کود نیتروژن کمی دریافت کرده است که با نتایج این آزمایش همخوانی داشت. قابل ذکر است که میزان محتوای نسبی آب برگ در تمامی تیمارهای منبع نیتروژن به استثنای تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در سال دوم نسبت به سال اول کاهش محسوسی در شرایط تنش خشکی آزمایش داشت (جدول 7). در سال اول آزمایش پراکنش و میزان بارندگی بیشتر باعث شد که میزان محتوای نسبی آب برگ در سال اول بیشتر از سال دوم در شرایط تنش خشکی باشد. در هر دو سال، تحت شرایط تنش خشکی تیمار تلقیح با ازتوباکتر نسبت به تیمار عدم مصرف کود دارای محتوای نسبی آب برگ بیشتر و نشت یونی کمتری بود (جدول 7). ازتوباکتر با افزایش کلروفیل و بهبود وضعیت محتوای نسبی آب برگ میزان تولید رادیکال های آزاد اکسیژن ناشی از تنش کم آبی را کاهش می‌دهد در نتیجه میزان آسیب به غشاء کاهش یافته و میزان نشت یونی کاهش می‌یابد (Wang et al., 2009). در گزارش اورتیز و همکاران (Ortiz et al., 2015) نیز نشان داده شد تلقیح گیاه با باکتری‌های افزاینده رشد در مقایسه با تیمار عدم تلقیح گیاه موجب کاهش نشت یونی تحت شرایط تنش می‌گردد. مقایسه میانگین اثر متقابل منبع نیتروژن در ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی نشان داد بیشترین محتوای نسبی آب برگ به رقم سینا

در تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن اختصاص داشت. همچنین، رقم سینا در تمامی تیمارهای منبع نیتروژن دارای بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ بود (جدول 9).

مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی نیز نشان داد، کمترین میزان نشت یونی با 47/07 درصد نیز به رقم سینا متعلق بود (جدول 5). در شرایط تنش خشکی رقم سینا در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارای میزان محتوای نسبی آب برگ بالا و نشت یونی پایینی است. با توجه به این که مقدار نشت یونی رابطه عکس با محتوای نسبی آب برگ دارد، می‌توان نتیجه گرفت که رقم سینا با داشتن کمترین نشت یونی و غشای سیتوپلاسمی پایدار، از محتوای نسبی آب برگ بیشتری برخوردار است. در نتیجه، این رقم تحمل بیشتری در برابر تنش خشکی دارد. این صفات احتمالاً از عوامل تحمل رقم سینا به تنش خشکی و مطرح بودن آن به عنوان رقم دیم متحمل به خشکی است. با توجه به این نتایج مشخص گردید استفاده از 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن بر روی افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش نشت یونی در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش توانسته است اثری مثبت داشته باشد که به علل آن در بالا اشاره شده است. میانگین محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش 23/85 درصد کاهش یافت (جدول 5). این یافته تأییدی بر یافته رهبریان و همکاران (Rahbarian et al., 2010) است که اظهار داشتند با افزایش شدت تنش آبی، میزان محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد. میانگین نشت یونی در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش 51 درصد افزایش یافت. نتایج نشان می‌دهد نشت یونی بیش از سایر صفات فیزیولوژیکی مورد بررسی تحت تأثیر قرار گرفته است (جدول 5). در حقیقت نشت یونی نیز می‌تواند به عنوان یک شاخص مناسب دیگر از چگونگی آسیب‌های وارده به سلول‌های برگی طی دوره تنش خشکی محسوب شود، در واقع از آن‌جایی که تنش خشکی با شروع یک تنش اکسایشی همراه است، بنابراین در طی آن تولید و ذخیره رادیکال‌های سمی و مخرب اکسیژن آزاد افزایش می‌یابد. تحت شرایط خشکی به سرعت چربی‌های غشا اکسید شده و پایداری غشای سلول‌ها از بین می‌رود (Wange et al., 2009).

میزان فعایت آنزیم کاتالاز در سال اول در شرایط تنش خشکی با میانگین 3/82 نسبت به سال دوم به‌میزان 4/21 کاهش معنی‌داری نشان داد. کمتر شدن فعالیت آنزیم کاتالاز در سال اول تحت شرایط تنش خشکی به دلیل کمتر بودن مدت تنش خشکی و میزان پراکنش مناسب بارندگی در سال اول آزمایش بوده است. کیم و همکاران (Kim et al., 2014) گزارش کردند که میزان فعالیت آنزیم کاتالاز وابسته به شدت، مدت و نوع تنش است و با توجه به این که مدت تنش طی سال‌های مورد آزمایش با هم متفاوت بوده است به همین سبب میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نیز در سال‌های مورد آزمایش با هم اختلاف معنی‌داری داشته است. در بین منابع نیتروژن در شرایط تنش خشکی بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از تیمارهای 100 درصد استفاده از کود شیمیایی نیتروژن به دست آمد که با گیاهان تحت تیمار تلفیقی ازتوباکتر+ 50 درصد استفاده از کود شیمیایی نیتروژن اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز برای گیاهان تحت تیمار عدم استفاده از کود (شاهد) حاصل

شد (جدول 6). لین و همکاران (Lin et al., 2012) اعلام کردند نیتروژن تأثیر زیادی بر فعالیت آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز همانند ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز دارد. در صورت نبود نیتروژن کافی از فعالیت ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز کاسته و بر میزان انتقال الکترون در مسیر احیای نوری اکسیژن از طریق واکنش مهلر درون کلروپلاست افزوده می‌شود. این امر در نهایت تولید ROSها را بالا می‌برد و بر فعالیت ترکیبات آنزیمی و غیرآنزیمی آنتی اکسیدان در برگ گیاهان افزوده شود. مولودی (Movludi, 2015) نیز گزارش کردند افزایش مصرف و بکارگیری نیتروژن سبب بالا رفتن میزان تولید آنزیم کاتالاز در جو بهاره می‌شود. در شرایط تنش خشکی با افزایش 6 درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار تلقیح با ازتوباکتر نسبت به تیمار شاهد میزان نشت یونی نیز در این تیمار نسبت به تیمار شاهد 4 درصد کاهش یافت (جداول 5 و 6) که این امر تأیید می‌کند ازتوباکتر به عنوان مواد تلقیحی در شرایط تنش خشکی با افزایش فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان کاتالاز در حفظ، ثبات و پایداری دیواره سلولی و کاهش نشت یونی نقش کلیدی دارد، شیاب و همکاران (Shiyab et al., 2013) نیز اظهار داشتند ازتوباکتر به هنگام بروز کمبود آب پایداری غشای سلول را از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش می‌دهد. این امر به دلیل آن است که تولید متابولیت‌ها توسط باکتری‌های محرک رشد از جمله هورمون‌های محرک رشد نقش ویژه‌ای در تحریک و بیان ژن‌های مسئول آنزیم‌های آنتی اکسیدان ایفا می‌کنند (Turan et al., 2013). بنابراین، کاربرد ازتوباکتر با فعال کردن سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنزیمی تحمل به تنش خشکی را باعث می‌شود که با گزارش حشمتی و همکاران (Heshmati et al., 2017) در بررسی بر روی گلرنگ بهاره اظهار داشتند باکتری‌های محرک رشد تحت شرایط تنش خشکی موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز می‌شود مطابقت دارد. با افزایش فعالیت کاتالاز تحت شرایط تنش خشکی، در تیمارهای تلقیح با ازتوباکتر+ 50 درصد مصرف کود شیمیایی و 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن نشت یونی کاهش یافت که این امر بیانگر آن است که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله کاتالاز، می‌تواند با افزایش نسبت $NADP^{+}/ NADPH_2^{+}$ در کلروپلاست سبب کاهش تولید فرم‌های فعال اکسیژن شده و از آسیب به بیومولکول‌ها از جمله لپیدهای غشا جلوگیری کرده و مانع افزایش نشت یونی شود (Franklin et al., 2010).

مقایسه میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت شرایط تنش خشکی نشان داد میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم سینا به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود (جدول 6). بالا بودن فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم سینا با تجزیه بیشتر پراکسید هیدروژن و مهار آن توسط آنزیم کاتالاز باعث گردیده آسیب به غشای کمتر و نشت یونی در این ژنوتیپ کاهش یابد. در یک آزمایش که اثرات تنش بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی دو واریته کنجد مورد بررسی قرار گرفت، بررسی‌ها حاکی از افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو واریته در شرایط تنش بود با این تفاوت که واریته متحمل به تنش، از فعالیت کاتالازی بیشتری در شرایط تنش نسبت به واریته حساس برخوردار بود (Niknam et al., 2006). همان‌طورکه در جدول 6 ملاحظه می‌گردد،

فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی افزایش یافته است. بنابراین، گیاهانی که با کمبود آب مواجه می‌شوند در جهت بهبود آسیب‌های اکسیداتیو، غلظت آنزیم کاتالاز را افزایش داده و متعاقباً پراکسیداسیون لیپیدی کمتری را متحمل می‌شوند.

میانگین‌های اثر متقابل سال در منبع نیتروژن بر تعداد غوزه در بوته در شرایط تنش خشکی نشان داد بیشترین تعداد غوزه در بوته در سال اول مربوط به تیمار 100 درصد استفاده از کود شیمیایی نیتروژن با 15/39 عدد و در سال دوم مربوط به تیمار تلفیقی ازتوباکتر+ 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن با 13/89 عدد بود (جدول 7) که این امر نشان می‌دهد در سال دوم آزمایش که میزان بارش تجمعی کمتر بوده است تیمار تلفیقی نسبت به تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی بر تعداد غوزه در بوته اثرگذاری بیشتری داشته باشد. این اثر را می‌توان به افزایش جذب آب به واسطه توسعه بیشتر ریشه‌ها در شرایط تنش خشکی توسط ازتوباکتر نسبت داد. زیرا اغلب صفات مؤثر بر افزایش عملکرد گلرنگ از جمله تعداد غوزه در بوته به‌ویژه در شرایط تنش خشکی با بهبود وضعیت ریشه‌ای گیاه و جذب آب و عناصر غذایی امکان پذیر است. میانگین‌های اثرات متقابل بین منبع نیتروژن و ژنوتیپ مشخص کرد که رقم سینا در هر دو سطح مصرف 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلفیقی ازتوباکتر+50 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن دارای بیشترین تعداد غوزه در بوته بود (جدول 9). این وضعیت نشان می‌دهد تیمار کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلفیقی ازتوباکتر+ 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن در شرایط تنش خشکی ضمن افزایش صفات کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ گیاه و با ایجاد مقصد فراوان و انتقال آسیمیلات‌های تولیدی حاصل از رشد رویشی، رشد زایشی را نیز افزایش داده‌اند با گزارش باقری و همکاران (Bagheri et al., 2012) که اعلام نمودند همبستگی بالایی بین محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل با صفت تعداد غوزه در بوته مشاهده می‌شود و افزایش در این صفات موجبات افزایش تعداد غوزه در بوته را فراهم آورده است همخوانی دارد. همچنین، در جدول 9 ملاحظه می‌شود که تعداد غوزه در بوته در تیمار تلفیقی نسبت به تیمار تلقیح با ازتوباکتر در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد که این امر مبین آن است که اثرات بسیار چشمگیر تلقیح با ازتوباکتر روی تعداد غوزه در بوته همراه با سطح متوسط نیتروژن حاصل می‌شود. همچنین، در این آزمایش پتانسیل ژنتیکی خود ژنوتیپ را نیز نباید نادیده گرفت چرا که در تیمار عدم مصرف کود نیز رقم سینا بیشترین تعداد غوزه در بوته را تحت شرایط تنش خشکی دارا بود. میانگین تعداد غوزه در بوته در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش 35درصد کاهش یافت (جدول 6). اگرچه تمایز تعداد غوزه در بوته در مرحله رشد رویشی گیاه انجام می‌گیرد اما به نظر می‌رسد که تنش خشکی در طی فاز زایشی تحت شرایط تنش خشکی با کاهش میزان کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ باعث ایجاد محدودیت در فتوسنتز جاری و تأمین مواد پرورده اسیمیلاتی و در نهایت زمینه سقط غوزه‌های تمایز یافته و کاهش تعداد غوزه در بوته را فراهم نماید (Bagheri et al., 2012). در بین تیمارهای منبع نیتروژن کمترین درصد کاهش تعداد غوزه در بوته در شرایط تنش خشکی نسبت

به شرایط بدون تنش به تیمارهای 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلفیقی ازتوباکتر+50 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن با میزان 32 درصد اختصاص داشت (جدول 6) که این امر مبین آن است که این تیمارها سبب افزایش توان مقابله گیاه گلرنگ با تنش خشکی شده‌اند. میانگین‌های اثر منبع نیتروژن مشخص کرد که بیشترین و درصد روغن دانه تحت شرایط تنش خشکی به‌ترتیب به تیمار تلقیح با ازتوباکتر+50 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلقیح با ازتوباکتر اختصاص داشت که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و کمترین درصد روغن به 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن مربوط بود (جدول 6). به نظر می‌رسد تحت شرایط تنش خشکی، اثرات مثبت ازتوباکتر از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید آسیمیلات بیشتر و بهبود رشد در گیاه شده که در نهایت موجب افزایش درصد روغن در مقایسه با سایر تیمارها شده است. مقایسه میانگین‌های سال × ژنوتیپ تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که ژنوتیپ 312-S6-692 در سال اول آزمایش بیشترین درصد روغن دانه را به خود اختصاص داد (جدول8).

در این بررسی در شرایط تنش خشکی مشاهده شده که بارندگی‌های مناسب و بیشتر در طی فصل رشد در سال اول، به‌دلیل افزایش طول دوره رشد ژنوتیپ‌ها، فرصت بیشتری برای ذخیره قندهای (هیدرات‌های کربن) ذخیره شده دانه در سال اول وجود داشت و در این شرایط درصد روغن دانه افزایش نشان داد. درصد روغن در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش 17 درصد کاهش یافت که با گزارش اشرفی و رزمجو (Ashrafi and Razmjoo, 2010) که اظهار داشتند محتوای روغن دانه گلرنگ در شرایط تنش خشکی 13 درصد کاهش یافت، مطابقت دارد. در شرایط تنش خشکی، متوسط عملکرد دانه در سال اول آزمایش بیشتر و معادل 1110 کیلوگرم در هکتار بود؛ ولی در سال دوم آزمایش معادل 990 کیلوگرم در هکتار بود که کمتر از سال اول آزمایش و این تفاوت هم معنی‌دار بود.

با توجه به پارامترهای اقلیمی (جدول1) میزان بارش پس از مرحله روزت در گیاه گلرنگ و آغاز رشد سریع در این گیاه در ماهای اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد که مرحله تشکیل اندام‌های زایشی ژنوتیپ‌های گلرنگ است، در سال اول آزمایش 20 درصد بیشتر از سال دوم بود. عملکرد دانه به‌طور میانگین 10 درصد افزایش یافت. این موضوع نقش بسیار مهم میزان بارندگی را در تولید گلرنگ دیم نشان می‌دهد. اگر چه گلرنگ متحمل به تنش‌های محیطی و به ویژه تنش آبی است اما توزیع بارندگی در فصول خاص نقش بسیار مؤثری در افزایش میزان تولید این محصول دارد (Segele and Lamb, 2005). همچنین، کوتاه شدن دوره رشد گلرنگ به‌دلیل میزان بارش کمتر در سال دوم، طول دوره تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه عملکرد دانه را کاهش داد.

میانگین دو ساله اثرات برهمکنش منبع نیتروژن در ژنوتیپ بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نشان داد که هر شش ژنوتیپ در تیمارهای کودی تلقیح با ازتوباکتر، ازتوباکتر+ 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن و تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن نست به تیمار عدم مصرف کود (شاهد)، با افزایش عملکرد دانه همراه بودند (جدول 9). بیشترین عملکرد دانه در رقم

سینا در تیمار 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلفیقی ازتوباکتر + 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن حاصل شد که از نظر آماری در گروه یکسان قرار گرفتند (جدول 9). رقم پدیده و ژنوتیپ PI-306974 در تیمارهای 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلفیقی از نظر آماری معنی‌دار نبودند عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلفیقی ازتوباکتر+ 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن در ارقام سینا، پدیده و ژنوتیپ‌های PI-306974 و PI-253895 که عملکرد دانه بالایی داشتند حاکی از آن بود که در شرایط تنش خشکی استفاده از 50 درصد مقدار توصیه شده کود شیمیایی نیتروژن به همراه ازتوباکتر موجب بهبود عملکرد دانه در گلرنگ می‌شود این نتایج در توافق با یافته‌های ناصری و میرزایی (Naseri and Mirzaaei, 2010) در این گیاه بود. به عبارت دیگر، ازتوباکتر نیتروژن مورد نیاز گیاه جهت رشد گیاه و رسیدن به عملکرد پتانسیل را تحت شرایط تنش خشکی تأمین نموده است و افزودن بیشتر کود شیمیایی تأثیری معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه ندارد و موجب هدر رفت کود شیمیایی نیتروژن می‌گردد. افزایش رشد صفات فیزیولوژیک با افزایش تعداد غوزه در بوته از عوامل افزایش عملکرد دانه در تیمار تلفیقی در شرایط تنش خشکی می‌باشد (Mirzaaei et al., 2018).

میانگین عملکرد دانه گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش 33 درصد کاهش یافت (جدول 6). در بین منابع نیتروژن بیشترین درصد کاهش عملکرد دانه با 37 درصد در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش (آبیاری مطلوب) به کاربرد 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن مربوط بود (جدول6) که این نتیجه نشان می‌دهد در شرایط تنش خشکی جذب نیتروژن توسط گیاه دچار اختلال می‌گردد و نیتروژن مورد نیاز برای مراحل بحرانی رشد حتی در صورت افزایش نیترات خاک فراهم نمی‌شود. مجدم (Mojadam, 2017) در بررسی خود اظهار نمود که آبیاری سبب افزایش جذب نیتروژن می‌شود و افزایش تنش آب به خودی خود توانایی گیاه را از نظر استخراج نیترات از خاک محدود می‌سازد. در پژوهشی دیگر نیز اعلام شد در شرایط تنش خشکی، افزایش مصرف نیتروژن تأثیر مثبت چندانی بر عملکرد دانه نداشت، اما در شرایط بدون تنش، افزایش مصرف نیتروژن باعث افزایش بیشتر عملکرد دانه گردید (Enayatgholizadeh et al., 2011).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مشخص گردید که در بافت خاک لومی رسی و در شرایط تنش خشکی آخر فصل استفاده تلفیقی از 50 درصد نیتروژن توصیه شده از منبع کود شیمیایی اوره که نصف آن به‌صورت پایه و نصف دیگر آن به‌صورت سرک در مرحله ساقه‌دهی استفاده شد به همراه ازتوباکتر ضمن فراهم کردن سیستم تغذیه‌ای بهتر برای گیاه با هدف کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه گردیده است. همچنین، در این شرایط رقم سینا برتری خود را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان داد، بنابراین استفاده از این ترکیب کودی و رقم سینا، در شرایط تنش خشکی منطقه می‌تواند ارزشمند باشد. در شرایط بدون تنش ژنوتیپ PI-306974 با کاربرد 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره، در دو مرحله هنگام کاشت و ساقه‌دهی، توانست

حداکثر عملکرد دانه را به‌دست آورد. در نتیجه ژنوتیپ PI-306974 کاربرد 100 درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن جهت حصول حداکثر عملکرد گلرنگ در شرایط بدون تنش (آبیاری مطلوب) می‌تواند مورد توجه باشد.

جدول 1- میانگین دما، بارندگی و رطوبت نسبی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در فصل های زراعی 96- 1395 و 95- 1394

Table1- Monthly mean value of temperature, precipitation and relative humidity Research Station of Agriculture Sarableh 2015-16 and 2016-17 cropping seasons

Year 2015-16		1394 -95 سال		Year 2016-17		1395 -96سال
ماه Month	میزان بارندگی Precipitation (mm)	میانگین دما Mean temperature (C^0)	میانگین رطوبت نسبی Mean relative humidity (%)	میزان بارندگی Precipitation (mm)	میانگین دما Average monthly temperature (C^0)	میانگین رطوبت نسبی Mean relative humidity (%)
مهر Sep.	0.5	24.2	29	2.7	22.0	25
آبان Oct.	319.8	13.9	69	19.1	17.3	34
آذر Nov.	67.7	8.1	64	34.3	8.1	45
دی. Dec.	75.9	6.7	70	87.5	7.3	60
بهمن Jan.	56.9	7.0	62	102.3	4.9	65
اسفند Feb.	53.0	12.0	58	74.7	10.2	54
فروردین Mar.	138.6	12.9	61	80.0	14.0	60
اردیبهشت Apr.	18.6	20.4	51	9.7	21.1	43
خرداد May.	0	25.0	28	0	26.2	22
تیر Jun.	0	31.8	20	0	31.7	17

جدول 2- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of soil in experimental site

سال Year	بافت خاک Soil Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity ($ds.m^{-1}$)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	فسفر قابل جذب Available Phosphor ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Available Potassium ($mg.kg^{-1}$)
1394-95 2015-16	لومی رسی Clay Loam	7.31	0.45	0.13	1.40	6.2	282
1395-96 2016-17	لومی رسی Clay Loam	7.34	0.43	0.13	1.39	6.1	270

جدول 3- تجزیه مرکب صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک تحت شرایط بدون تنش (NS) و تنش خشکی (S)

Table 3- Combined analysis of variance for phenologic and physiological traits under non stress (NS) and drought stress (S)

S.O.V. منبع تغییرات	درجه آزادی df	تعداد روز تا گل‌دهی Days to flowering		تعداد روزتا رسیدگی Days to maturity		محتوای نسبی آب برگ Relative water content		کلروفیل کل (a+b) Total Chlorophyll		نشت یونی Electrolyte Leakage	
		NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
Year(Y) سال	1	33.06^{ns}	1995.11^{**}	82.50^{ns}	3108.06^{**}	3.09^{ns}	108.54^{ns}	1.682^{ns}	31.59^{**}	6.67^{ns}	353.37^{**}
R/Y سال/ تکرار	4	21.76	96.45	37.17	152.32	0.74	129.83	0.217	0.11	4.50	12.66
Nitrogen source منبع نیتروژن	3	698.54^{**}	956.79^{**}	1400.35^{**}	1932.23^{**}	89.17^{**}	1549.72^{**}	15.139^{**}	7.16^{**}	33.82^{**}	1126.05^{*}
N×Y سال × نیتروژن	3	20.35^{**}	2.83^{ns}	20.91^{**}	1.51^{ns}	1.22^{ns}	46.80^{**}	0.214^{**}	0.19^{ns}	0.30^{ns}	85.80^{**}
Genotype ژنوتیپ	5	173.27^{**}	136.11^{*}	182.52^{**}	174.72^{*}	138.54^{**}	457.04^{**}	3.946^{**}	3.67^{**}	32.39^{**}	283.19^{**}
G×Y سال×ژنوتیپ	5	0.69^{ns}	18.32^{*}	2.27^{ns}	34.31^{ns}	2.56^{*}	13.95^{ns}	0.130^{**}	0.19^{ns}	0.53^{ns}	6.71^{ns}
N×G نیتروژن×ژنوتیپ	15	1.42^{ns}	6.84^{ns}	2.21^{ns}	10.61^{ns}	2.84^{**}	24.59^{*}	0.182^{**}	0.11^{ns}	1.41^{**}	8.57^{ns}
N×G×Y سال× نیتروژن×ژنوتیپ	15	0.72^{ns}	7.89^{*}	0.93^{ns}	17.53^{**}	0.62^{ns}	7.56^{ns}	0.013^{ns}	0.11^{**}	0.27^{ns}	4.31^{ns}
Error خطا	92	2.25	4.29	2.25	6.70	0.43	7.31	0.049	0.03	0.18	7.16
C.V.% ضریب تغییرات	-	1.67	1.27	1.67	2.37	4.06	5.81	2.78	2.70	1.81	5.15

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

^{ns}, * and ** represent not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول 4- تجزیه مرکب صفات کاتالاز، تعداد غوزه در بوته، درصد روغن و عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش (NS) و تنش خشکی (S)

Table 4- Combined analysis of variance for catalase, bolls per plant, oil percentages and grain yield traits under non stress (NS) and drought stress (S)

S.O.V. منبع تغییرات	درجه آزادی df	کاتالاز Catalase		تعداد غوزه در بوته Bolls per plant		درصد روغن Oil (%)		عملکرد دانه Grain Yield	
		NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
Year(Y) سال	1	0.012^{ns}	5.56^{**}	54.00^{ns}	70.84^{ns}	0.38^{ns}	16.43^{ns}	14520.25^{ns}	519480.56^{*}
R/Y سال/ تکرار	4	0.007	0.16	6.03	7.98	0.65	2.18	35214.55	66564.88
Nitrogen source نیتروژن	3	2.071^{**}	3.65^{**}	204.49^{**}	171.71^{*}	39.02^{**}	12.44^{*}	3270620.55^{**}	9099910.87^{**}
N×Y سال × منبع نیتروژن	3	0.005^{ns}	0.067^{ns}	2.75^{ns}	14.80^{**}	1.25^{**}	0.846^{ns}	23935.04^{**}	31727.10^{**}
Genotype ژنوتیپ	5	0.061^{**}	1.14^{**}	121.76^{**}	87.30^{**}	0.96^{**}	4.16^{ns}	321142.70^{**}	310094.70^{**}
G×Y سال×ژنوتیپ	5	0.003^{ns}	0.042^{ns}	4.76^{*}	3.07^{ns}	0.048^{ns}	3.90^{**}	13674.71^{**}	8381.42^{ns}
N×G نیتروژن×ژنوتیپ	15	0.0015^{ns}	0.018^{ns}	5.62^{**}	6.43^{*}	0.03^{ns}	0.53^{ns}	16679.21^{**}	107950.35^{**}
N×G×Y سال× نیتروژن×ژنوتیپ	15	0. 004	0.029^{ns}	1.05^{ns}	2.45^{ns}	0.02^{ns}	0.66^{ns}	2916.73^{ns}	6026.85^{ns}
Error خطا	92	0. 010	0.041	1.82	2.55	0.03	0.43	3872.01	4792.39
C.V.% ضریب تغییرات	-	1.2	5.06	8.60	13.07	1.67	2.71	6.96	8.29

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

^{ns}, * and ** represent not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول 5- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر صفات فنولوژیک و فیزیولوژیک طی دو سال زراعی تحت شرایط تنش خشکی (S) و بدون تنش (NS) و میزان کاهش این صفات (R%) در شرایط تنش خشکی (S) نسبت به شرایط بدون تنش (NS)

Table 5- Mean comparison of main effects on phonologic and physiologic traits under drought stress (s) and non-stress (NS) in two growing Seasons and reduction of these traits (R%) in drought stress (S) compared to non- stress conditions (NS)

	تعداد روز تا گل‌دهی Days to flowering			تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity			محتوای نسبی آب برگ Relative water content (%)			کلروفیل کل Total Chlorophyll ($\mu g.ml^{-1}$)			نشت یونی Electrolyte Leakage (%)		
Nitrogen Source منبع نیتروژن	S	NS	R%	S	NS	R%	S	NS	R%	S	NS	R%	S	NS	R%
N0	174c	196c	11	191c	216c	11	59.9b	82.6c	28	10.60b	11.83b	10.4	57.93a	35.09a	-65
N1	173c	196c	11	190c	215c	11	61.7b	82.8c	25	10.76b	11.95b	9.9	55.57ab	35.2a	-57
N2	180b	202b	10	200b	224b	10	70.8a	84.8b	16	11.38a	12.91a	8.3	48.62bc	33.62b	-44
N3	184a	205a	10	206a	228a	9	73.1a	85.9a	14	11.75a	13.07a	10	46.12c	33.34b	-38
Genotype ژنوتیپ															
G1	181a	200c	9	200a	221b	9	61.1d	84.2c	27	10.55d	12.43c	15.1	56.76a	34.41b	-64
G2	179ab	196e	8	197a	217d	9	62.3cd	80.3e	22	10.67cd	11.94d	10.6	54.55b	35.86a	-52
G3	178abc	198d	10	196a	219c	10	65c	82.4d	20	10.98bc	12.00d	8.5	53b	35.36a	-49
G4	178ab	203a	12	198a	224a	11	69.1b	87.1a	20	11.3b	12.94a	12.6	50.51c	32.77d	-54
G5	177bc	202b	12	196ab	223a	12	68.1b	84.5bc	19	11.31b	12.65bc	10.5	50.47c	34.06bc	-48
G6	174c	200c	13	193b	222b	13	72.6a	85.7b	15	11.54a	12.72ab	9.2	47.07d	33.42b	-40
Mean میانگین	178	200	11	197	221	10	66.4	84	21	11.06	12.45	11.1	52.06	34.31	-51

N0، N1، N2 و N3 به‌ترتیب عدم مصرف کود و بدون تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با ازتوباکتر+ 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن.
G1، G2، G3، G4، G5 و G6 به ترتیب ژنوتیپ‌های 312-S6-692، PI-401478، PI-253895، PI-306974، پدیده و سینا.
میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال 5% با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

N0 ،N1 ،N2 و N3 without application of fertilizer and non-inoculation, inoculation with Azotobacter chorococum, inoculation with Azotobacter chorococum+50% Nitrogen chemical fertilizer, 100%Nitrogen chemical fertilizer respectively.
G1, G2, G3, G4, G5and G6 Genotypes 312-S6-692 ،PI-401478 ،PI-253895 ،PI-306974, Padideh and sina respectively.
Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Multiple Range Test (DMRT).

جدول 6- مقایسه میانگین اثرات اصلی بر صفات کاتالاز، تعداد غوزه در بوته، درصد روغن و عملکرد دانه طی دو سال زراعی تحت تنش خشکی (S) و بدون تنش (NS) و میزان کاهش این صفات (R%) در شرایط تنش خشکی(S) نسبت به شرایط بدون تنش (NS)

Table 6- Mean comparison of main Effects on catalase, bolls per plant, oil percentages and grain yield traits under drought stress(s) and non-stress(NS) in two growing seasons and reduction of these traits (R%) in drought stress (S) compared to non- stress conditions (NS)

Nitrogen Source منبع نیتروژن	کاتالاز Catalase ($\Delta OD240.min^{-1}.mg^{-1}.fr.wt$)			تعداد غوزه در بوته bolls per plant			درصد روغن Oil (%)			عملکرد دانه Grain Yield ($kg.h^{-1}$)		
	S	NS	R%	S	NS	R%	S	NS	R%	S	NS	R%
N0	3.60c	2.56b	-40	9.88b	16.22c	39.08	23.89bc	31.20a	23	869c	1238d	29
N1	3.89b	2.57b	-48	10.83b	17.50b	38.11	24.73a	30.85a	19	968b	1419c	31
N2	4.25a	02.68a	-56	13.83a	20.36a	32.07	25.02a	29.44b	15	1172a	1741b	32
N3	4.32a	2.70a	-59	14.30a	21.30a	32.86	23.67c	29.07b	17	1193a	1903a	37
Genotypes ژنوتیپ												
G1	3.77d	2.63ab	-40	10.37e	18.87b	45.04	24.7a	30.08c	17	914d	1558b	41
G2	3.8cd	2.60c	-46	10.41e	15.62c	33.29	23.97a	30.3b	20	938d	1414c	33
G3	3.94c	2.64b	-48	11.45d	16.83c	31.96	24.65a	30.4a	18	1012c	1503b	32
G4	4.12b	2.64a	-55	13.79b	21.66a	36.33	24.31a	29.94c	18	1120b	1740a	35
G5	4.14b	2.63ab	-55	12.83c	19.79b	35.16	24.83a	30.05c	17	1113b	1667a	33
G6	04.33a	.2.64a	-66	14.79a	20.29b	27.10	23.81a	30.02c	20	1203a	1571b	23
Mean میانگین	0.0040	0.0026	-53	12.21	18.84	35.19	24.83	30.14	17	1050	1575	33

N0، N1، N2 و N3 به ترتیب عدم مصرف کود و بدون تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با ازتوباکتر+ 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن. G1، G2، G3، G4، G5 و G6 به ترتیب ژنوتیپ‌های 312-S6-692، PI-401478، PI-253895، PI-306974، پدیده و سینا. میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال 5% با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

N0 ،N1 ،N2 و N3 without application of fertilizer and non-inoculation, inoculation with Azotobacter chorococum, inoculation with Azotobacter chorococum+50% Nitrogen chemical fertilizer, 100%Nitrogen chemical fertilizer respectively. G1, G2, G3, G4, G5and G6 Genotypes 312-S6-692 ،PI-401478 ،PI-253895 ،PI-306974, Padideh and sina respectively. Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Multiple Range Test.

جدول 7- مقایسه میانگین اثر برهمکنش سال × منبع نیتروژن بر صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک،، تعداد غوزه در بوته، درصد روغن و عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی (S) و بدون تنش (NS)

Table 7- Mean comparison of interaction effects of year × nitrogen source on phonologic, physiologic, bolls per plant, oil percentage and grain yield in under drought stress (S) and non-stress (NS)

	S					NS			
تیمارها Treatments	**محتوای نسبی آب برگ** Relative water content (%)	**نشت یونی** Electrolyte Leakage (%)	**تعداد غوزه در بوته** bolls per plant	**عملکرد دانه** Grain Yield ($kg.ha^{-1}$)	**تعداد روز تا گل‌دهی** Days to flowering	**تعداد روز تا رسیدگی** Days to maturity	**کلروفیل کل** Total Chlorophyll ($\mu g.ml^{-1}$)	**درصد روغن** %Oil (%)	**عملکرد دانه** Grain Yield ($kg.ha^{-1}$)
$Y_1 \times N_1$	61.01d	56.44b	9.94d	885d	195f	218d	11.87ef	31.04b	1212f
$Y_1 \times N_2$	63.36c	52.34c	11.61c	1029c	195f	216e	11.97d	30.61c	1437d
$Y_1 \times N_3$	72.40a	46.62e	14.72ab	1260a	201d	224c	12.82c	39.62d	1760c
$Y_1 \times N_4$	72.37a	46.6e	15.39a	1268a	206a	229a	12.99b	29.09f	1935a
$Y_2 \times N_1$	58.84e	59.43a	9.83d	848e	197e	214f	11.803f	31.37a	1266e
$Y_2 \times N_2$	60.11de	58.81a	10.06d	907d	197e	215ef	11.94de	31.08b	1403d
$Y_2 \times N_3$	69.26b	50.64d	13.89b	1085bc	202c	224c	13.01b	29.26e	1722c
$Y_2 \times N_4$	73.98a	45.65e	12.28c	1120b	204b	227b	13.21a	29.06f	1872b

Y1 و Y2 به‌ترتیب فصل‌های زراعی 95- 1394 و 96-1395؛ N0 ، N1، N2 و N3 به‌ترتیب عدم مصرف کود و بدون تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با ازتوباکتر+ 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100 درصد کود شیمایی نیتروژن.

میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5% با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

Y_1 and Y_2: 2015 -16 and 2016 – 17 growing seasons, respectively; N0, N1, N2 and N3 without application of fertilizer and non-inoculation, inoculation with Azotobacter chorococum, inoculation with Azotobacter chorococum+50% Nitrogen chemical fertilizer, 100%Nitrogen chemical fertilizer respectively. Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Multiple Range Test.

جدول 8- مقایسه میانگین اثرات برهمکنش سال × ژنوتیپ بر صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک، روغن و عملکرد تحت شرایط تنش خشکی (S) و بدون تنش (NS)

Table 8- Mean comparison of interaction effects of year × genotype on phonologic, physiologic, oil and yield in under drought stress (S) and non-stress (NS)

S			NS		
تیمارها Treatment	**میزان روغن** Oil content (%)	**محتوای نسبی آب برگ** Relative water content (%)	**کلروفیل کل** Total Chlorophyll ($\mu g.ml^{-1}$)	**تعداد غوزه دربوته** bolls per plant	**عملکرد دانه** Grain Yield ($kg.ha^{-1}$)
$Y_1 \times G_1$	25.63a	84.26d	12.37f	19.41de	1553c
$Y_1 \times G_2$	24.60b-d	80.9g	11.97h	17.00hi	1460d
$Y_1 \times G_3$	24.72b-c	82.74e	12.08g	17.50gh	1536c
$Y_1 \times G_4$	24.75b-c	86.71b	12.86b	21.83a	1732a
$Y_1 \times G_5$	24.66b-d	84.57d	12.56de	20.75bc	1654b
$Y_1 \times G_6$	23.94c-e	85.7c	12.63d	20.58bc	1581e
$Y_2 \times G_1$	23.76de	84.26d	12.50e	18.33fg	1564c
$Y_2 \times G_2$	23.36e	79.76h	11.91h	14.25j	1370e
$Y_2 \times G_3$	24.58b-d	82.15f	11.93h	16.16i	1470d
$Y_2 \times G_4$	23.88c-e	87.5a	13.03a	21.50ab	1749a
$Y_2 \times G_5$	24.99ab	84.62d	12.73c	18.83ef	1680b
$Y_2 \times G_6$	23.68e	85.74c	12.83bc	20.00cd	1562c

Y1 و Y2 به ترتیب فصل‌های زراعی 95- 1394و 96-1395؛ G1، G2، G3، G4، G5 و G6 به‌ترتیب ژنوتیپ‌های 312-S6-692، PI-401478، PI-253895، PI-306974، پدیده و سینا.

میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال 5% با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

PI- ،PI-401478 ،G6 Genotypes 312-S6-692 G5 and G4, Y_1 and Y_2: 2015 -16 and 2016 – 17 growing seasons, respectively; G1, G2, G3, PI-306974, Padideh and sina respectively. .253895

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Multiple Range Test.

جدول 9- مقایسه میانگین اثرات برهمکنش منبع نیتروژن×ژنوتیپ بر صفات فیزیولوژیک، تعداد غوزه در بوته، و عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی (S) و بدون تنش (NS)

Table 9- Mean comparison of interaction effects of nitrogen source × genotype on physiologic, bolls per plant and grain yield in under drought stress (S) and non-stress (NS)

	S			NS				
تیمارها Treatment	**محتوای نسبی آب برگ** Relative water content (%)	**تعداد غوزه در بوته** bolls per plant	**عملکرد دانه** Grain Yield ($kg.ha^{-1}$)	**محتوای نسبی آب برگ** Relative water content (%)	**کلروفیل کل** Total Chlorophyll ($\mu g.ml^{-1}$)	**نشت یونی** Electrolyte Leakage (%)	**تعداد غوزه در بوته** bolls per plant	**عملکرد دانه** Grain Yield ($kg.ha^{-1}$)
$N_1 \times G_1$	52.83m	8.66 l	799l	83.42f	11.89m	34.83c-e	16.83ij	1280h
$N_1 \times G_2$	57.46l	8.66 l	804kl	77.9j	11.44o	36.93a	12.33l	1056j
$N_1 \times G_3$	59.50kl	8.5 l	813kl	80.83h	11.56no	35.67b	14.67k	1183i
$N_1 \times G_4$	63.11h-k	11.17g-j	911i-l	85.08e	11.98lm	34.07fg	18.33fh	1313gh
$N_1 \times G_5$	62.38i-k	10.5h-k	899hi	83.74f	12.07kl	34.79c-e	17.83g-i	1315gh
$N_1 \times G_6$	64.24f-i	11.73f-i	975f-h	84.89e	12.08kl	34.27e-g	17.33h-i	1277h
$N_2 \times G_1$	57.37l	8.83 kl	865ij	83.22f	11.9m	34.93c	17.67g-i	1399f
$N_2 \times G_2$	58.50l	9.16 kl	862ij	79.78i	11.45o	36.43a	15.33kl	1306gh
$N_2 \times G_3$	60.29j-l	10j-l	917ghi	81.27gh	11.66n	35.61b	15.83j-l	1358fg
$N_2 \times G_4$	63.85f-j	12.17f-h	1020ef	85.69c-e	12.3fghi	34.17f-g	18.67f-i	1512e
$N_2 \times G_5$	63.71g-j	12.67e-g	1040d-f	83.42f	12.14jk	34.86ef	18.5f-i	1529e
$N_2 \times G_6$	66.69e-h	12.17f-h	1106cd	83.98f	12.27h-j	34.34gh	19f-h	1416f
$N_3 \times G_1$	67.64ef	12.17f-h	991e-g	85.17de	12.91e	33.72h-j	21de	1703d
$N_3 \times G_2$	65.8e-i	12.17f-h	1065de	81.79g	12.41gh	35.01c	17.5g-i	1565e
$N_3 \times G_3$	68.85de	14.33c-e	1151c	83.75f	12.23ij	34.77de	17.5g-i	1665d
$N_3 \times G_4$	73.46bc	15.33bc	1253b-d	87.56b	13.65b	32.26j	23.67b	1951b
$N_3 \times G_5$	72.43c	14.67cd	1249b-d	84.88e	13.18d	33.5hi	21de	1838c
$N_3 \times G_6$	76.78b	17.17a	1336a	85.99cd	13.12d	32.49j	21.5cd	1729d
$N_4 \times G_1$	66.86e-h	11.83f-i	1003ef	85.23de	13.05de	34.18fg	20d-f	1852c
$N_4 \times G_2$	67.47e-g	10.17j-l	1022ef	81.86g	12.46fg	35.07c	17.33h-j	1724d
$N_4 \times G_3$	71.61cd	13e-h	1167c	83.94f	12.57f	34.52c-f	19.3e-g	1807c
$N_4 \times G_4$	76.34b	16.5abc	1296b	90.08a	13.86a	30.58k	26a	2185a
$N_4 \times G_5$	73.99bc	13.5d-g	1267b	86.35c	13.19d	33.11i	21.8b-d	1991b
$N_4 \times G_6$	72.45a	18a	1408a	88.02b	13.56c	32.58j	23.33bc	1864c

N0، N1، N2 و N3 به‌ترتیب عدم مصرف کود و بدون تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با ازتوباکتر+ 50 درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100 درصد کود شیمیایی نیتروژن؛ G1، G2، G3، G4، G5 و G6 به‌ترتیب ژنوتیپ‌های 312-S6-692، PI-401478، PI-253895، PI-306974، پدیده و سینا.

میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال 5% با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

N0, N1, N2 and N3 without application of fertilizer and non-inoculation, inoculation with Azotobacter chorococum, inoculation with Azotobacter chorococum+50% Nitrogen chemical fertilizer, 100%Nitrogen chemical fertilizer respectively; G1, G2, G3, G4, G5and G6 Genotypes 312-S6-692 ،PI-401478 ،PI-253895 ،PI-306974, Padideh and sina respectively.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Multiple Range Test.

جدول 10- مقایسه میانگین اثرات برهمکنش سال ×منبع نیتروژن×ژنوتیپ تحت شرایط تنش خشکی (S)

Table 10- Mean comparison of interaction effects of year×nitrogen source× genotype under drought stress (S)

تیمارها Treatments	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	کلروفیل کل Total Chlorophyll ($\mu g.ml^{-1}$)
Y1×N1×G1	182d-f	201de	9.63r-t
Y1×N1×G2	180g-i	198e-g	11.03pq
Y1×N1×G3	176lm	194h	10.96p-r
Y1×N1×G4	181e-h	199d-f	11.38no
Y1×N1×G5	179h-j	197f-h	11.39no
Y1×N1×G6	170op	186j-l	11.43mn
Y1×N2×G1	181e-h	200e	10.79q-s
Y1×N2×G2	177k-m	195h	10.76rs
Y1×N2×G3	175m-o	193hi	11.22p
Y1×N2×G4	176lm	194h	11.61i-k
Y1×N2×G5	179h-j	196f-h	11.69hi
Y1×N2×G6	174m-o	192hi	11.80fg
Y1×N3×G1	188ab	209bc	11.55kl
Y1×N3×G2	184c-e	205cd	11.55kl
Y1×N3×G3	184c-e	207c	11.87f
Y1×N3×G4	184c-e	205cd	12.13cd
Y1×N3×G5	182d-f	200e	12.06de
Y1×N3×G6	181e-h	202de	12.16c
Y1×N4×G1	192a	215a	11.45mn
Y1×N4×G2	189ab	211b	11.50m
Y1×N4×G3	186bc	211b	11.78fg
Y1×N4×G4	191a	216a	12.01e
Y1×N4×G5	185bc	207c	12.31b
Y1×N4×G6	183de	203d	12.69a
Y2×N1×G1	174m-o	189j	9.96q-s
Y2×N1×G2	171op	188jk	9.92tu
Y2×N1×G3	172no	186kl	10.14q
Y2×N1×G4	170o-g	188lm	10.39o-q
Y2×N1×G5	168qr	185jk	10.40o-q
Y2×N1×G6	167q-s	183lm	10.56op
Y2×N2×G1	172no	188jk	9.8u
Y2×N2×G2	172no	186j-l	9.3v
Y2×N2×G3	171op	186j-l	10.0rt
Y2×N2×G4	170o-q	186j-l	10.45o-q
Y2×N2×G5	167qr	186j-l	10.46o-q
Y2×N2×G6	166s	184kl	10.74r-s
Y2×N3×G1	179h-j	197f-h	10.53o
Y2×N3×G2	178jk	195gh	10.43p-r
Y2×N3×G3	177k-m	196f-h	10.79r
Y2×N3×G4	175m-o	194h	11.13m-o
Y2×N3×G5	174m-o	195h	11.05no
Y2×N3×G6	173no	192hi	11.39mn
Y2×N4×G1	183de	202de	10.67op
Y2×N4×G2	182d-f	202de	10.50pq
Y2×N4×G3	183de	201de	11.02op
Y2×N4×G4	179h-j	200e	11.32m-o
Y2×N4×G5	180g-i	204d	11.12n-p
Y2×N4×G6	179h-j	198e-g	11.64lm

میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5% با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan Multiple Range Test.

References منابع مورد استفاده

· Akbari, P., A. Ghalavand, and S.A.M. Modarres Sanavy. 2010. Effects of different nutrition systems and biofertilizer (PGPR) on phenology period yield and yield components of sunflower (Helianthus annuus L.). Journal of Plant Production. 2(3): 119-134. (In Persian).

· Akbari, S., M. Kafi, S. Rezvan, and S. Beidokhti. 2016. The effects of drought stress on yield, yield components and antioxidant of two garlic (Allium sativum L.) ecotypes with different planting densities. Journal of Agroecology. 8(1): 95-106. (In Persian).

· Ali, B. 2015. Bacterial auxin signaling comparative study of signaling: comparative study of growth induction in Arabidopsis thaliana and Triticum aestivum. Turkish Journal of Botany. 39: 1-9.

· Anonymus. 1995. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official methods of analysis, 16th Edition. AOAC International, Gaithersburg, MD.

· Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23: 112- 121.

· Ashrafi, E., and K.H. Razmjoo. 2010. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (Carthamus tinctorius L.) cultivars. Journal of the American Oil Chemists' Society. 87(5): 499-506.

· Bagheri, H., B. Alibi, and M.R. Azimi Moghaddam. 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).

· Ben Hamed, K., A. Castagna, E. Salem, A. Ranieri, and C. Abdelly. 2007. Sea fennel (Crithmum maritimum L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation. 53: 185-194.

· Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantites of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annals of Biochemistry. 72: 248-254.

· Enayatgholizadeh, M.R., G. Fathi, and M. Razaz. 2011. Evaluation grain yield and yield component of three cultivars to drought stress different levels of nitrogen. Journal of Crop Ecophysiology. 5(1): 1-14. (In Persian).

· Faraji, A. 2010. Seed yield in three species of brassica effect of rainfall and photothermal quotient in rainfed conditions of Gonbad. Seed and Plant Production Journal. 26(2): 109-121. (In Persian).

· Fernanda, P., A.P. Bortolheiro, and O.A. Marcel-Silva. 2017. Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. Annals of the Brazilian Academy of Sciences. 89(4): 3051-3066.

· Filgueiras, L.M.B., and C.H.S.G. Meneses. 2015. Efeito das bactérias promotoras de crescimento de plantas na proteção contra o estresse hídrico. Journal of Biology and Pharmacy and Agricultural Management. 11: 21-30.

· Flemmer, A.C., M.C. Franchini, and L.I. Lindström. 2015. Description of safflower (Carthamus tinctorius) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. Annals of Applied Biology. 166: 331-339.

· Franklin, A., G.F. Enéas, F. Claudivan, T.P. José, D. André, N. Azevedo, and C. Elton. 2010. Pretreatment with H_2O_2 in maize seeds: effects on germination

and seedling acclimation to salt stress. Brazilian Journal of Plant Physiology. 22(2): 103-112.

· Fuladvand, M., and A. Yadavi. 2015. Effect of plant density, rate and split application of nitrogen fertilizer on quality characteristics and nitrogen use efficiency of safflower under weed competition. Iranian Journal of Field Crops Research. 13(2): 358-368. (In Persian).

· Ghorbanzadeh Neghab, M., G.H. Rassam, and A.R. Dadkhah. 2014. Evaluation of yield and seed fatty acid compositions of safflower (Carthamus tinctorius L.) cultivars in Shirvan region. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 30(3): 382-390. (In Persian).

· Glick, B.R. 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. Microbiological Research. 169: 30-39.

· Goldani, M., and P. Rezvani. 2007. The effects of different irrigation regimes and planting dates on phenology and growth indices of three chickpea cultivars in Mashhad. Journal Agricultural Science Nature Resource. 14(1): 63-74. (In Persian).

· Gururani, M.A., C.H. Upadhyaya, V. Baskar, J. Venkatesh, and A. Nookaraju. 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in Solanum tuberosum through inducing changes in the expression of ROS-scavenging enzymes and improved photosynthetic performance. Journal of Plant Growth Regulation. 34(2): 245-258.

· Hassanpour Lescokelaye, K., J. Ahmadi, J. Daneshyan, and S. Hatami. 2015. Changes in chlorophyll, protein and antioxidant enzymes on durum wheat under drought stress. Journal of Crop Breeding. 15: 76- 87. (In Persian).

· Heshmati, S., A. Amini Dehaghi, and K. Fathi Amirkhiz. 2017. Effects of biological and chemical phosphorous fertilizer on grain yield, oil seed and fatty acids of spring safflower in water deficit conditions. Iranian Journal of Field Crop Science. 48: 159-169. (In Persian).

· Jalilian, A., R. Ghobadi, and A. Farnia. 2010. Response of some photosynthesis system traits and leaf relative water content of corn [SC704] on different amounts of nitrogen fertilizer in different irrigation regimes. 5th New Ideas in Agriculture Islamic Azad University of Isfahan. 14- 18. (In Persian).

· Kim, Y.H., A.L. Khan, M. Waqas, and J.K. Shim. 2014. Silicon application to rice root zone influenced the phytohormonal and antioxidant responses under salinity stress. Plant Growth Regulation. 33: 137- 149.

· Kutcher, H.R., S.S. Malhi, and K.S. Gill. 2005. Topography and management of nitrogen and fungicide affects diseases and productivity of canola. Agronomy Journal. 97(2): 533-541.

· Lin, Y.L., Y.Y. Cho, W.D. Huang, and C.H. Kao. 2012. Effect of nitrogen deficiency on antioxidant status and Cd toxicity in rice seedlings. Plant Growth Regulation. 64 (3): 263-273.

· Manivannan, P., C.A. Jaleel, B. Sankar, A. Kishorekumer, R. Somasundaram, G.M.A. Lakshmanan, and R. Panneerselvam. 2015. Growth, biochemical and surfaces, modification and proline metabolism in (Helianthus annus L.) as induced by drought stress. Journal of Plant Nutrition. 59: 141-149.

· Mirzaei, A., R. Naseri, S.M. Torab Miri, A. Soleymanifard, and A. Fathi. 2018. Response of yield and yield components of chickpea (Cicer arietinum L.) cultivars

to the application of plant growth promoting rhizohbacteria and nitrogen chemical fertilizer under rainfed conditions. Journal of Crop Ecophysiology. 44(4): 775-790. (In Persian).

· Mirzakhani, M. 2017. Response of safflower (Carthamus tinctorius L.) agronomic characteristics to time, rate and methods of nitrogen applications. Journal of Crop Ecophysiology. 11(4): 875-888. (In Persian).

· Moafi, R., and A.A. Teymiri. 2009. The effect of different amounts of N fertilizer in different sowing dates on phenological characterictics, grain yield and of canola (Hyola 401). Journal of Plant Ecophysiology. 1(3): 29-44. (In Persian).

· Mohammadi, S. 2014. Evolution of grain yield and its components relationships in bread wheat genotypes under full irrigation and terminal water stress conditions using multivariate statistical analysis. Iranian Journal of Field Crops Research. 12(1): 99-109. (In Persian).

· Mohammadi, S., H. Madani, and A. Rokhzadi. 2014. Effects of super absorbent application on yield and phonological traits of safflower cultivars in delay and spring sowing time at rain fed conditions in Sanandaj, Iran. New Finding in Agriculture. 9(1): 75-88. (In Persian).

· Mojadam, M. 2017. Effect of drought stress on physiological characteristics and seed yield of sunflower at different levels of nitrogen. Electronic Journal Crop Production. 9: 121-136. (In Persian).

· Movludi, A. 2015. Effect of nitrogen application on some characteristics of drought tolerance in spring barley. Journal of Crop Production. 8(3): 95-114.

· Movludi, A., A. Ebadi, S. Jahanbakhsh, M. Davari, and G. Parmoon. 2013. Effects of water stress and nitrogen application on chlorophyll fluorescence and cell membrane stability in spring barley. The First National Conference on Planning and Environmental Protection, 21Feb. 2013. Islamic Azad University Hamedan Branch. (In Persian).

· Namvar, A., and T. Khandan. 2015. Inoculation of rapeseed under different rates of inorganic nitrogen and sulfur fertilizer: Impact on water relations, cell membrane stability, chlorophyll content and yield. Archives of Agronomy and Soil Science. 61: 1137-1149.

· Namvar, A., R. Seyed Sharifi, T. Khandan, and M. Jafari Moghadam. 2013. Organic and inorganic nitrogen fertilization effects on some physiological and agronomical traits of chickpea (Cicer arietinum L.) in irrigated condition. Journal of Central European Agriculture. 14: 28–40.

· Naseri, R., and A. Mirzaaei. 2010. Response of yield and yield components of safflower (Carthamus tinctorius L.) to seed inoculation with azotobacter and azospirillum and different nitrogen levels under dry land conditions. American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science. 9(4): 445-449.

· Niknam, V., N. Razavi, H. Ebrahimzadeh, and B. Sharifizadeh. 2006. Effect of NaCl on biomass proline and protein contents and antioxidant enzymes in seedling and calli of two Triginella species. Biologia Plantarum. 50: 591-596.

· Omidi, A.H., H. Khazaei, P. Monneveux, and F. Stoddard. 2012. Effect of cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (Carthamus tinctorius L.). Turkish Journal of Field Crops. 17: 10-15.

· Ortiz, N., A. Armada, A. Duque, A. Roldan, and R. Azcon. 2015. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and or bacteria to enhancing plant drought tolerance

under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. Journal of Plant Physiology. 174: 87–96.

· Rahbarian, P., G. Afsharmanesh, and M.H. Shirzadi. 2010. Effects of drought stress and manure on relative water content and cell membrane stability in dragonhead (Dracocephalum moldavica L.). Plant Ecophysiology. 2: 9-13. (In Persian).

· Segele, Z.T., and P.J. Lamb. 2005. Characterization and variability of Kiremt rainy season over Ethiopia. Meteorology of Atmospheric Physics. 89: 153–180.

· Shahsavari, M.R. 012. Determination of duration of developmental stages of sofea safflower cultivar by temperature and day length. Iranian Journal of Field Crops Research. 10(3): 555-562. (In Persian).

· Shiyab, S.M., M.A. Shatnawi, R.A. Shibli, and M.W. Akash. 2013. Growth, nutrient acquisition and physiological responses of hydroponic grown tomato to sodium chloride salt induced stress. Journal Plant Nutrition. 36 (4): 665-676.

· Soomro, M., H. Markhand, and B.A. Soomro. 2011. Screening Pakistani cotton for drought tolerance. Pakistan Journal of Botany. 44: 383-388.

· Taleshi, K., A. Shokoh-Far, M. Rafiee, G. Noormahamadi, and T. Sakinejhad. 2012. Safflower yield respond to chemical and biotic fertilizer on water stress condition. World Applied Sciences Journal. 20: 1472-1477.

· Tarighaleslami, M., M. Kafi, A. Nezami, and R. Zarghami. 2017. Examining interactions of chilling and draught stresses on chlorophyll (SPAD), RWC, electrolyte leakage and seed performance in three hybrid varieties of maize. Journal of Crop Breeding. 9(23): 131-156. (In Persian).

· Turan, M., M. Gulluce, R. Çakmak, and F. Şahin. 2013. Effect of plant growth-promoting rhizobacteria strain on freezing injury and antioxidant enzyme activity of wheat and barley. Journal of Plant Nutrition. 36: 731-748.

· Vardharajula, S., S.Z. Ali, M. Grover, G. Reddy, and V. Bandi. 2011. Drought-tolerant plant growth promoting Bacillus spp.: Effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. Journal of Plant Interactions. 6: 1–14.

· Walker, V., O. Couillerot, A. Von Felten, F. Bellvert, J. Jansa, M. Maurhofer, and G. Comte. 2011. Variation of secondary metabolite levels in maize seedling roots induced by inoculation with azospirillum, pseudomonas and glomus consortium under field conditions. Plant and Soil. 356: 151– 163.

· Wange, W.B., Y.H. Kim, H. Lee, K.Y. Kim, X.P. Deng, and S.S. Kwak. 2009. Analysis of antioxidant enzymes activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. Plant Physiology Biochemstery. 47: 570- 577.

· Yousefpoor, Z., A. Yadavi, H. Balouchi, and H. Farajee. 2014. Evaluation of some physiological, morphological and phonological characteristics in sunflower (Helianthus annuus L.) influenced by biological and chemical sources of nitrogen and phosphorus. Agroecology. 6(3): 508-519. (In Persian).

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2022.689790

Effect of Azotobacter and Nitrogen Fertilizer Levels on Agro-physiological Traits and Yield of Safflower (Carthamus tinctorius L.) Genotypes under Different Moisture Conditions

Abbas Soleimanifard[1,2] , Mani Mojaddam[2*], Shahram Lack[2] and Mojtaba Alavifazel[2]

Received: November 2019 , Revised: 9 March 2020, Accepted: 21 August 2020

Abstract

This study was to investigate the phenological, physiological traits, seed yield and oil yield of six safflower genotypes under drought stress and non-stress conditions in two independent experiments. Each of the experiment was a factorial with randomized complete block design with three replications during cropping seasons of 2015-16 and 2016-17 at Sarabela Agricultural Research Station in ILAM province. In one experiment under non stress condition, irrigation was based on the need of the plant, while the in the other experiment, plant growth was as rainfed where rainfalls was enough. The total amount of precipitation during the plant growth period in 2015-16 and 2016-17 were 410.7 and 388.5 mm, respectively, but it occurred with inappropriate ditribution during the growing season. Experimental treatments consisted of six safflower genotypes plus inoculation of seeds with Azotobacter and use of urea fertilizer application with four levels: 1- no fertilizer application (as control), 2- Azotobacter seed inoculation, 3- Azotobacter seed inoculation + 50% nitrogen from urea source and 4- to 100% nitrogen from urea fertilizer based on soil testing recommendation. The results showed that nitrogen source and genotype were significantly affected all traits both under drought and non-stress conditions. Under drought stress conditions, the highest grain yield belonged to Sina genotype by using 100% nitrogen fertilizer and Azotobacter + 50% nitrogen fertilizer treatments (with mean yield of 1408 and 1336 $kg.ha^{-1}$ reapectively), which were not significantly different. Under non-stress conditions, the highest grain, with mean yield of 2185 $kg.ha^{-1}$, was attributed to PI-306974 genotype with 100% nitrogen fertilizer treatment. Thus, this genotype, under non-stress conditions, by using 100% nitrogen fertilizer for maximum yield of safflower and under drought stress, it was Sina genotype by using 50% nitrogen fertilizer with Azotobacter can be recommanded to the experimental region.

Key words: Bolls per plan, Chlorophyll, Drought stress, Grain yield.

1- Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
*Corresponding Author: manimojaddam@yahoo.com