University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 3, pp. 613-628 (Fall 2023)

https://dx.doi.org/10.22077/escs.2023.4830.2079

Original article

Response of safflower genotypes to different nitrogen sources under non-stress and terminal water stress

A. Soleymanifard[1], M. Mojaddam[2*], Sh. Lack[2], M. Alavifazel[2]

1. Asssistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
2. Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Received 2 November 2021; Accepted 10 January 2022

Extended abstract

Introduction

Safflower is an oilseed plant tolerant to water deficit, and have an important role in oil production. Drought stress is the most important factor limiting crop yields in many parts of the world, including Iran. Nitrogen plays a key role in plant growth and this role is highly related to the amount of water and how it is distributed. Bacteria of the genus Azotobacter are one of the most important growth-promoting bacteria in plants due to their abundance and extent of spread, which is able to improve the availability of nitrogen. In areas where most rainfall occurs in winter and early spring, crops will face water constraints at the end of the growing season. In such conditions, finding cultivars and lines that have good performance in non-stress and drought stress conditions and have a suitable response to Azotobacter and nitrogen fertilizer is of special importance.The aim of this experiment was to evaluate the response of safflower genotypes to the application of Azotobacter and nitrogen fertilizer under different moisture conditions.

Materials and methods

This experiment was carried out during two growing seasons (2015/2016 and 2016/2017), in Sarableh Agricultural Research Station, Ilam Province. The factorial scheme 4 × 6 experiment was performed in both years in a randomized complete block design with three replications under terminal drought stress and non-stress conditions. The distance between these two environments was considered to be 10 meters so that the humidity of the two adjacent environments did not affect each other. Experimental factors included seed inoculation with A. chroococcum using urea chemical fertilizer at four levels [without using any N fertilizer source (control), seed inoculation with A. chroococcumalso without use N fertilizer, seed inoculation with A. chroococcum + 50% N of urea fertilizer source, and 100% N of urea fertilizer source], and six safflower genotypes (312-S6-697, PI-401478, PI-253895, PI-306974, Padideh, and Sina).After harvesting and determining grain yield in both experimental conditions, stress tolerance indices including stress sensitivity index (SSI), mean productivity (MP), tolerance (TOL), geometric mean yield (GMP), stress tolerance index (STI) and Modified stress tolerance indices (MSTI) were calculated. Statistical calculations of analysis of variance and mean comparisons were performed using SAS 9.1 software. STATGRAPH software was used to principal component analysis and drawing biplot diagrams.

[*] Corresponding author: Mani Mojaddam; E-Mail: mojaddam.1392@gmail.com

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and discussion

The results showed that among the nitrogen source treatments, the highest percentage of grain yield reduction with 48% in drought stress conditions compared to non-stress conditions was related to the application of 100% nitrogen chemical fertilizer. This result shows that in drought stress conditions, the application of 100% nitrogen fertilizer due to the increase of biological substances, causes an imbalance between the roots and plant aerial parts in water absorption and water loss through transpiration by aerial organs, which in Extremely serious damage to the economic sector of the plant.Azotobacter inoculation + 50% nitrogen fertilizer application had the highest mean productivity index and the lowest stress sensitivity index among nitrogen source treatments, although it was not significantly different from other nitrogen source treatments. These results indicate that the use of Azotobacter in combination with the application of 50% nitrogen fertilizer reduces the damage caused by drought stress in safflower. Sina cultivar was the most tolerant genotype under drought stress under Azotobacter inoculation and 100% nitrogen fertilizer application. In conditions of inoculation with Azotobacter + 50% of nitrogen fertilizer application, Sina and Padideh cultivars are located in the area of high production potential and low drought sensitivity in the vicinity of vectors related to drought tolerance indices

Conclusion

Sina cultivar in inoculation treatment with Azotobacter and consumption of 100% nitrogen fertilizer, Padideh cultivar in addition to Sina cultivar in combined application of Azotobacter + 50% nitrogen fertilizer had the highest tolerance to terminal drought stress; Therefore, in selecting drought tolerant genotypes, special attention should be paid to nitrogen source factor.

***Keywords*:** Azotobacter, Biplot, Grain yield, Indices of stress tolerance

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۲

https://dx.doi.org/10.22077/escs.2023.4830.2079

مقاله پژوهشی

پاسخ ژنوتیپ‌های گلرنگ به منابع مختلف نیتروژن در شرایط بدون تنش و تنش آبی انتهای فصل

عباس سلیمانی‌فرد[۱]، مانی مجدم[۲*]، شهرام لک[۲]، مجتبی علوی‌فاضل[۲]

۱. استادیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲. گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
ازتوباکتر
بای پلات
شاخص‌های تحمل به تنش
عملکرد دانه

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۸/۱۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۱۰/۲۰

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۲

۶۲۸-۶۱۳ :۱۶(۳)

چکیده

گلرنگ یک گیاه دانه روغنی مقاوم به کم‌آبی است و نقش مهمی در تولید روغن دارد. این پژوهش با هدف مطالعه پاسخ ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه به ازتوباکتر و کود شیمیایی نیتروژن به‌صورت فاکتوریل ۴×۶ در طی دو سال زراعی (۹۵- ۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط تنش خشکی انتهایی فصل و بدون تنش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در استان ایلام اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ترکیبی از 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+ ۵۰ درصد نیتروژن از منبع اوره و ۱۰۰ درصد نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره) و شش ژنوتیپ گلرنگ بود. نتایج حاصل از تجزیه مرکب نشان داد، اثر منبع نیتروژن و ژنوتیپ بر شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه در هر دو شرایط آزمایش معنی‌دار بودند. بیشترین شاخص میانگین بهره‌وری به کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلقیح ازتوباکتر+۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن اختصاص داشت. کمترین شاخص حساسیت به تنش به تیمار تلقیح ازتوباکتر+ ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی متعلق بود. نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز نشان داد که ژنوتیپ سینا در تیمارهای تلقیح با ازتوباکتر و ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و ژنوتیپ پدیده و سینا در تیمار تلفیقی ازتوباکتر+۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن، بیشترین تحمل به تنش خشکی را داشتند. به‌طورکلی نتایج این تحقیق مشخص کرد، رقم سینا در تیمار تلقیح با ازتوباکتر و مصرف کود ۱۰۰ درصد نیتروژن، رقم پدیده علاوه بر رقم سینا در کاربرد ترکیبی ازتوباکتر + کود نیتروژن ۵۰ درصد بیشترین تحمل را به تنش خشکی انتهایی فصل داشت؛ بنابراین در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی باید به عامل منبع نیتروژن توجه ویژه‌ای شود.

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی یک‌ساله با دانه‌های روغنی است که به دلیل تحمل به تنش کم‌آبی، کیفیت مطلوب روغن و سیستم ریشه‌ای عمیق می‌تواند نقش بسزایی در تأمین روغن موردنیاز کشور ایفا نماید (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 محدودکننده عملکرد محصولات زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران است (Akbari et al., 2016). یکی از راه‌حل‌های اساسی غلبه بر مشکلات ناشی از تنش خشکی، معرفی ارقام با تحمل بیشتر به تنش خشکی است (Takeda and Matsuoka, 2008). در این راستا، روش‌های مختلفی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پیشنهاد شده است. به‌طوری‌که برخی از محققین انتخاب تحت شرایط عدم تنش و تنش را برای بهبود تحمل و مقاومت نسبی پیشنهاد کرده‌اند. در همین راستا پژوهشی بر روی گندم دوروم نشان داد که عملکرد دانه تحت شرایط عدم تنش با عملکرد دانه تحت شرایط دیم همبستگی نداشت که بر این اساس، نتیجه‌گیری شد که داشتن عملکرد پتانسیل

* نگارنده پاسخگو: مانی مجدم. پست الکترونیک: mojaddam.1392@gmail.com

بالا در شرایط مطلوب آبیاری حتماً منتج به بهبود عملکرد در شرایط دیم نمی‌گردد (Soleymanifardet al., 2012).

تاکنون شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی میزان تحمل گیاهان زراعی نسبت به انواع تنش‌ها غیرزنده مورداستفاده قرار گرفته است. در این راستا، فیشر و مور (Fischer and Maurer, 1978) با محاسبه شاخص شدت تنش جهت تعیین میزان حساسیت ژنوتیپ‌ها به خشکی، شاخص حساسیت به خشکی را پیشنهاد کرده‌اند. شاخص بهره‌وری متوسط و شاخص تحمل در سال ۱۹۸۱ توسط رزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) معرفی شد. ژنوتیپ‌های متحمل‌تر دارای مقادیر بیشتر شاخص بهره‌وری متوسط می‌باشند ژنوتیپ‌های انتخاب‌شده بر اساس شاخص تحمل در شرایط بدون تنش، عملکرد کم و در شرایط تنش، عملکرد نسبتاً زیادی دارند. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص تحمل به تنش توسط فرناندز (Fernandez, 1992) معرفی شد. نیتروژن نقش اساسی در رشد گیاه داشته و این نقش ارتباط زیادی با مقدار آب و نحوه توزیع آن دارد. عملیات مدیریتی مختلف می‌تواند پتانسیل مصرف بهینه نیتروژن توسط گیاهان را به حداکثر برساند (Sedlar et al., 2013).

کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه، یکی از راهبردهای مهم در مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهی برای سلامتی محیط‌زیست و سیستم کشاورزی پایدار ر به شمار می‌رود (Kamaei et al., 2019). باکتری‌های جنس ازتوباکتر، به دلیل فروانی و وسعت انتشار از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه در خاک‌های مناطق معتدله هستند که با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی مانند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، تولید هورمون اکسین و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه قادر به بهبود فراهمی عنصر نیتروژن برای گیاه و افزایش عملکرد گیاهان زراعی و باغی است (Jnawali et al., 2015). در مناطقی مانند ایران که بیشتر بارندگی‌ها در زمستان و آغاز بهار رخ می‌دهد گیاهان زراعی با محدودیت آب در پایان فصل رشد مواجه خواهند شد. در چنین شرایطی یافتن رقم‌ها و لاین‌هایی که در شرایط بدون تنش و تنش خشکی از عملکرد مطلوبی برخوردار باشند و پاسخ مناسبی به ازتوباکتر و کود شیمیایی نیتروژن داشته باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از انجام این آزمایش، پاسخ ژنوتیپ‌های گلرنگ نسبت به کاربرد ازتوباکتر و کود شیمیایی نیتروژن در شرایط متفاوت رطوبتی است.

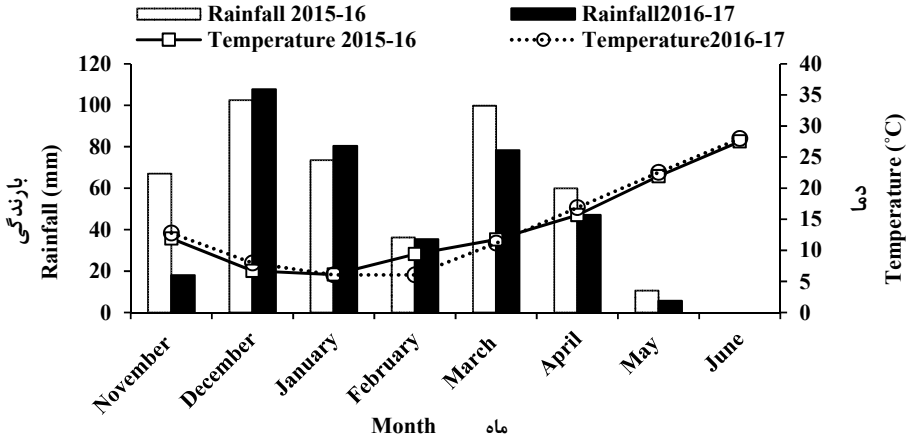
مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۹۵- ۱۳۹۴ و ۹۶- ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله، در شهرستان چرداول واقع در ۳۰ کیلومتری شمال شرقی استان ایلام با اقلیم نیمه‌خشک معتدل اجرا شد. محل آزمایش در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۹۷۵ متر از سطح دریا بود و دارای متوسط بارندگی سالیانه ۴۰۲ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد، حداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق سالیانه به ترتیب ۴۲/۲ و ۸/۶- درجه سانتی‌گراد است. میانگین ماهانه دما و بارندگی در سال‌های زراعی ۹۵- ۱۳۹۴ و ۹۶- ۱۳۹۵ در شکل ۱ ارائه شده است.

در این آزمایش یک قطعه زمین به محیط تنش خشکی و دیگری به محیط بدون تنش اختصاص یافت که فاصله بین این دو شرایط ۱۰ متر در نظر گرفته شد. قبل از عملیات آماده‌سازی زمین برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه‌ای مرکب (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) از خاک مزرعه به‌طور تصادفی تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام فرستاده شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. زمین محل اجرای آزمایش در مهرماه هر دو سال آزمایش شخم عمیق زده شد و در اوایل آبان ماه عملیات آماده‌سازی تکمیلی زمین شامل شخم، دیسک زنی و کرت‌بندی انجام شد. هر کرت آزمایش شامل شش خط کاشت با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر و طول هر خط کاشت چهار متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر و بین بلوک‌ها فاصله دو متر در نظرگرفته شد. با توجه به نتایج تجزیه خاک در هر دو سال آزمایش ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل 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 تأمین گردید، در رابطه با نیتروژن (کود اوره) با توجه به اندازه کرت‌ها (مساحت هر کرت ۷/۲ مترمربع) و بر اساس آزمون خاک در شرایط بدون تنش (آبیاری نرمال) و تنش خشکی برای اعمال سطوح صفر، پنجاه‌درصد و ۱۰۰ درصد نیتروژن به ترتیب مقادیر ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره برای شرایط بدون تنش، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار برای شرایط تنش خشکی توزین گردید و در زمان کاشت در

کرت‌های موردنظر به‌صورت پایه و نیم دیگر نیز به‌صورت سرک در مرحله ساقه‌دهی (۳۰= مقیاس توسعه‌یافته BBCH) استفاده گردید.

برای تلقیح بذرها میزان هفت میلی‌لیتر مایه تلقیح که هر میلی‌لیتر آن دارای ۱۰۸ عدد باکتری زنده و فعال، با آب شکر به غلظت ۲۰ درصد مرطوب و به نسبت ۲ کیلوگرم ماده تلقیح در ۱۰۰ کیلوگرم بذر با بذرها آغشته و استفاده 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 به‌خوبی سطح بذور را پوشش دهد. بذور تیمار شده به مدت ده دقیقه روی سطح تمیز، در سایه قرار داده شدند تا خشک شدند. سپس بذور هر کرت پس از توزین در کیسه‌های پلاستیکی ریخته و در سال‌های زراعی ۹۵-۹۴ و ۹۶-۹۵ به ترتیب در تاریخ ۲۰ و ۲۵ آبان ماه کشت گردیدند.



شکل ۱. میانگین ماهانه دما و میزان بارندگی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در فصل‌های زراعی ۹۶- ۱۳۹۵ و ۹۵- ۱۳۹۴.

Fig. 1.Monthly mean of temperature and value precipitation Research Station of Agriculture Sarableh 2015-16 and 2016-17 cropping seasons

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1.Physical and chemical properties of soil in experimental site

سال Year	بافت خاک Soil Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی E. C	نیتروژن کل Total N	کربن آلی O. C	فسفر قابل‌جذب Available P	پتاسیم قابل‌جذب Available K
			$ds.m^{-1}$	----------%---------		----------mg. kg^{-1}----------	
۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	لومی رسی Clay Loam	7.31	0.45	0.13	1.40	12.6	282
۱۳۹۵-۹۶ 2016-17	لومی رسی Clay Loam	7.34	0.43	0.13	1.39	11.6	270

آبیاری در هر دو محیط تا قبل از مرحله گلدهی مقارن با کد ۵۹ از مقیاس توسعه‌یافته BBCH بر اساس ۷۵ میلی تبخیر از تشتک کلاس A انجام شد. با شروع گل‌دهی مقارن با کد ۶۵ از مقیاس توسعه‌یافته BBCH تنش بر روی محیط موردنظر اعمال و آبیاری در شرایط تنش خشکی بر اساس ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک انجام گرفت. برای تعیین نیاز آبی گیاه از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده گردید (Allen et al., 1998).

$$ET_0=K_P\times ETP \quad [1]$$

$$ET_{Crop} = K_{crop}\times ET_0 \quad [2]$$

که در آن ET_0: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، K_P: ضریب تشتک A (۰/۷)، ETP: میزان تبخیر روزانه از تشتک، ET_{Crop}: تبخیر و تعرق محصول و K_{Crop}: ضریب گیاهی گلرنگ بر

اساس فائو (۱/۵) هستند. بخشی از آب آبیاری موردنیاز از طریق بارندگی تأمین می‌شد که هنگام آبیاری، از میزان آب موردنیاز گیاه کسر گردید. بارندگی مؤثر با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید (Kolaeiyan and Gholami SefidKuhi, 2012).

$$Peff= Pt(120.2Pt)/125 \quad [۳]$$

که در آن Peff بارندگی مؤثر و Pt بارندگی کل است. برداشت و تعیین عملکرد دانه در هر دو شرایط آزمایش با حذف دو خط کناری و ۵۰ سانتی‌متر از طرفین، از دو خط میانی به طول چهارمتر انجام شد. شاخص‌های تحمل به تنش شامل حساسیت به تنش (SSI)، متوسط بهره‌وری (MP)، تحمل (TOL)، میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP) و شاخص تحمل به تنش به ترتیب بر اساس روابط (۴)، (۶)، (۷)، (۸) و (۹) محاسبه شدند:

$$SSI=\frac{1-Y_S/Y_P}{SI} \quad [۴]$$

شاخص تنش (SI) از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$SI=1-\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P} \quad [۵]$$

$$MP=\frac{Y_P+Y_S}{2} \quad [۶]$$

$$TOL=Yp-Ys \quad [۷]$$

$$GMP=\sqrt{\bar{Y}_P \times Y_S} \quad [۸]$$

$$STI=\frac{Y_P \times Y_S}{(\bar{Y}_P)^2} \quad [۹]$$

شاخص تحمل به تنش تغییریافته (Farshadfar and Sutka, 2002): این شاخص (KiSTI) به ترتیب برای شرایط بدون تنش (K1STI) و تنش خشکی (K2STI) با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه شد:

$$K_1STI=\frac{Y_P^2}{\bar{Y}_P^2} \quad [۱۰]$$

$$K_2STI=\frac{Y_S^2}{\bar{Y}_S^2} \quad [۱۱]$$

در این روابط Y_P و Y عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی $\bar{Y}_p$ و $\bar{Y}_S$ به ترتیب متوسط عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی هستند. پس از محاسبه شاخص‌ها، قبل از تجزیه مرکب، آزمون یکنواختی روی واریانس‌ها با روش بارتلت اجرا شد. با اطمینان از متجانس بودن واریانس‌ها، تجزیه مرکب روی داده‌ها صورت گرفت. 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 میانگین اثرات اصلی به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و در صورت معنی‌دار اثر متقابل منبع نیتروژن در ژنوتیپ، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها صورت گرفت. این محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. به منظور ارزیابی بهتر روابط بین شاخص‌ها با عملکردهای هر دو شرایط از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات استفاده شد، که برای این منظور از نرم افزار STAT-GRAPH استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها در دو سال آزمایش در هر دو شرایط بدون تنش (آبیاری نرمال) و تنش خشکی نشان داد که اثر سال تنها بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی معنی‌دار بود. اثر منبع نیتروژن و ژنوتیپ بر تمامی شاخص‌های موردبررسی و عملکرد دانه در هر دو شرایط آزمایش معنی‌دار بودند (جدول ۲). معنی‌دار بودن ژنوتیپ‌ها بر شاخص موردمطالعه بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل‌ملاحظه‌ای از لحاظ این شاخص‌ها و امکان گزینش برای شاخص‌ها در میان ژنوتیپ‌های موردمطالعه است. اثر متقابل سال× منبع نیتروژن بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص تحمل به تنش تغییریافته در شرایط تنش خشکی معنی‌دار بود. اثر متقابل منبع نیتروژن × ژنوتیپ بر عملکرد دانه در شرایط آبیاری، شاخص‌های تحمل، میانگین هندسی بهره‌وری، تحمل به تنش و تحمل به تنش تغییریافته در هر دو شرایط معنی‌دار بود (جدول ۲)؛ که حاکی از واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها ازنظر عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و این شاخص‌ها نسبت به تیمارهای منبع نیتروژن است. اثرات متقابل سال×ژنوتیپ و سال×منبع نیتروژن ×ژنوتیپ بر عملکرد دانه در هر دو شرایط آزمایش و هیچ‌کدام از شاخص‌های موردبررسی در این تحقیق معنی‌دار نبودند (جدول ۲)؛ که بیانگر واکنش مشابه ژنوتیپ‌ها به تیمارهای منبع نیتروژن در دو سال آزمایش است.

مقایسه میانگین اثر سال بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نشان داد که متوسط عملکرد دانه تحت این شرایط در سال اول آزمایش بیش‌تر و معادل ۱۱۱۱ کیلوگرم در هکتار بود؛ ولی در سال دوم آزمایش معادل ۹۹۰ کیلوگرم در هکتار

بود که کمتر از سال اول آزمایش و این تفاوت هم معنی‌دار بود (جدول ارائه نشده است). با توجه به پارامترهای اقلیمی (شکل ۱) میزان بارش پس از مرحله خروج از روزت و رشد سریع گیاه گلرنگ در ماهای اسفند و فروردین که مرحله تشکیل اندام‌های زایشی ژنوتیپ‌های گلرنگ است، در سال اول آزمایش ۲۳ درصد بیشتر از سال دوم بود.

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به تنش

Table 2.combined analysis of variance for grain yield non-stress conditions and drought stress conditionsand stress tolerance indices.

منابع تغییر S.O.V.	df	Y_P	Y_S	SSI	TOL	MP	GMP	STI	K_1STi	K_2STi
سال Year(Y)	1	18383^{ns}	519000*	0.598^{ns}	342030^{ns}	621272^{ns}	289319^{ns}	0.211^{ns}	0.026^{ns}	2.59^{ns}
سال/ تکرار R/Y	4	34553	62989	0.045	5440	117678	58290	0.038	0.052	0.480
منبع نیتروژن Nitrogen source(N)	3	3292797**	906950*	0.018^{ns}	770247**	3444899**	1703737**	1.154**	4.191**	4.206*
سال × منبع نیتروژن N×Y	3	14551^{ns}	35541*	0.014^{ns}	11892^{ns}	58279**	27710**	0.024^{ns}	0.017^{ns}	0.239**
ژنوتیپ Genotype (G)	5	423846**	311251**	0.283**	316098**	626711**	308172**	0.217**	0.601**	1.469**
سال×ژنوتیپ G×Y	5	12554^{ns}	8367^{ns}	0.006^{ns}	7744^{ns}	18094^{ns}	8409^{ns}	0.005^{ns}	0.017^{ns}	0.054^{ns}
منبع نیتروژن×ژنوتیپ N×G	15	23510**	10661^{ns}	0.012^{ns}	25632*	20809^{ns}	12333*	0.13**	0.052**	0.089*
سال×منبع نیتروژن×ژنوتیپ N×G×Y	15	5290^{ns}	6655^{ns}	0.010^{ns}	9422^{ns}	9241^{ns}	4303^{ns}	0.003^{ns}	0.007^{ns}	0.034^{ns}
خطا Error	92	4805	4970	0.010	11406	5355	2495	0.001	0.006	0.026
ضریب تغییرات CV(%)	-	*6.88*	*7.40*	*10.36*	*12.81*	*4.96*	*4.84*	*8.07*	*8.07*	*15.56*

^{ns}،*و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

Yp: عملکرد دانه در شرایط بدون تنش Ys: عملکرد در شرایط تنش خشکی SSI: شاخص حساسیت به تنش؛ TOL: شاخص تحمل؛ MP: شاخص متوسط بهره‌وری؛ GMP: میانگین هندسی محصول‌دهی؛ STI: شاخص تحمل به تنش؛ K_1STI: شاخص تحمل به تنش تغییریافته در شرایط بدون تنش K_2STI: شاخص تحمل به تنش تغییریافته برای شرایط تنش خشکی

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

YP: grain yield non stress conditions,YS: grain yield drought stress conditions, SSI: stress susceptibility index, TOL: tolerance index, MP: mean productivity, GMP: geometric mean productivity, STI: stress tolerance index, K_1STI: modified stress tolerance index in non-stress conditions, K2STI:modified stress tolerance index drought stress conditions

میانگین دما پس از مرحله خروج از روزت تا زمان برداشت در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب برابر با ۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۲ درجه سانتی‌گراد بود. عملکرد دانه به‌طور میانگین در سال اول آزمایش نسبت به سال دوم ۱۰ درصد افزایش یافت. بنابراین، علت بیشتر بودن عملکرد دانه در سال اول آزمایش را می‌توان به شرایط مساعد آب و هوایی در سال اول به جهت دمای کمتر و بارندگی‌های بیشتر به‌ویژه در ماه‌های انتهایی دوره رشد گلرنگ مربوط دانست؛ زیرا شرایط مساعد آب‌وهوایی در هنگام غوزه‌دهی و گل‌دهی، با بهبود در فتوسنتز جاری باعث بهبود در روند پر شدن دانه و درنهایت باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد. آیدی و همکاران (Ayadi et al., 2015) نیز گزارش کردند، در مناطق دیم عملکرد کاملاً به میزان بارندگی کل و توزیع آن بستگی دارد. میانگین عملکرد دانه گلرنگ در شرایط تنش خشکی انتهایی فصل نسبت به شرایط بدون تنش ۴۵ درصد کاهش یافت (جدول ۳). یاری و همکاران (Yari et al., 2015) در بررسی‌های خود گزارش کردند که در مراحل رشد سریع ساقه و گل‌دهی گلرنگ، رژیم‌های متفاوت آبیاری موجب کاهش چشمگیر عملکرد دانه در هکتار می‌گردند، زیرا حساس‌ترین مرحله نیاز به آب در گلرنگ مرحله گل‌دهی بوده؛ که با نتایج

این آزمایش همخوانی داشت. کاهش عملکرد دانه گلرنگ تحت تأثیر تنش رطوبتی توسط پژوهشگران متعدد دیگری نیز گزارش شده است (Amini et al., 2014; Fanaei and Narouirad, 2014). در بین منابع نیتروژن بیشترین درصد کاهش عملکرد دانه با ۴۸ درصد در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش به کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمایی نیتروژن مربوط بود (جدول ۳)؛ که این نتیجه نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمایی نیتروژن به دلیل افزایش مواد بیولوژیک، باعث عدم تعادل بین ریشه و اندام هوایی گیاه در جذب آب و همچنین تلفات آب از طریق تعرق توسط اندام هوایی می‌گردد، که این عوامل درنهایت آسیب جدی به بخش اقتصادی گیاه می‌زند (Barbottin et al., 2005). مجدم (Mojadam, 2017) در بررسی خود اظهار نمود که آبیاری سبب افزایش جذب نیتروژن می‌شود و افزایش تنش آب به‌خودی‌خود توانایی گیاه را ازنظر استخراج نیترات از خاک محدود می‌سازد. قادری و همکاران (Gadri et al., 2020) در پژوهشی دیگر نیز اظهار داشتند تحت شرایط تنش رطوبتی افزایش کاربرد کود نیتروژن شدت تنش را افزایش می‌دهد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی بیشترین درصد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ 312-S6-692 با ۵۳ درصد بود (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات اصلی بر شاخص حساسیت به تنش، میانگین محصول‌دهی و عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش (Y_P) و تنش (Ys) طی دو سال زراعی و میزان کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش

Table 3. Mean comparison of main Effects onstress susceptibility index, mean productivity and grain yield under non-stress (Yp) and stress (Ys) in two growing Seasons and reduction of grain yield in drought stress compared to non- stress

Factor عامل		Y_P	Ys	R	SSI	MP
		--------- kg. h^{-1} ---------		(%)	--------- kg. h^{-1} ---------	
منبع نیتروژن (Nitrogen source)	N0	1449^{d}	769^{b}	46	1.99^{a}	1494^{c}
	N1	1619^{c}	868^{b}	46	0.98^{a}	1678^{b}
	N2	1967^{b}	1072^{a}	45	0.96^{a}	2056^{a}
	N3	2103^{a}	1096^{a}	48	1.01^{a}	2148^{a}
ژنوتیپ (Genotype)	312-S6-692	1758^{c}	814^{d}	53	1.13^{a}	1694^{bc}
	PI-401478	1614^{d}	838^{d}	48	$1.01b^{c}$	1646^{c}
	PI-253895	1703^{c}	916^{c}	46	0.98^{bc}	1767^{b}
	PI-306974	1997^{a}	1020^{b}	48	1.03^{b}	2018^{a}
	پدیده	1867^{b}	$1017b$	45	0.96^{c}	1951^{a}
	سینا	1771^{c}	1103^{a}	37	0.80^{d}	1989^{a}

N0، N1، N2 و N3 به ترتیب عدم مصرف کود و بدون تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با ازتوباکتر+ ۵۰ درصد کود شیمایی نیتروژن و ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمایی نیتروژن؛ Yp: عملکرد دانه در شرایط بدون تنش Ys: عملکرد در شرایط تنش خشکی؛ R: درصد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش؛ SSI: شاخص حساسیت به تنش؛ MP: شاخص متوسط بهره‌وری

میانگین‌ها در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵٪ با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

N0, N1, N2 and N3: without application of fertilizerand non-inoculation, inoculation with *Azotobacterchorococum,* inoculation with *Azotobacter chorococum*+50% Nitrogen chemical fertilizer, 100% Nitrogen chemical fertilizer, respectively; YP: grain yield non stress conditions,YS: grain yield drought stress conditions, R: reduction percentage of grain yield in drought stress compared to non- stress conditions, SSI: stress susceptibility index, MP: mean productivity

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

این نتیجه گواهی بر حساسیت این ژنوتیپ به تنش خشکی است. همچنین در این آزمایش مشاهده شد پرمحصول‌ترین ژنوتیپ در شرایط مطلوب رطوبتی، لزوماً در شرایط تنش خشکی نیز پرمحصول‌ترین ژنوتیپ نیست (جدول ۳)؛ بنابراین بررسی عملکرد نسبی ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی و بدون تنش به‌عنوان یک نقطه شروع برای شناخت فرایند تحمل به خشکی و انتخاب ژنوتیپ برای اصلاح در محیط خشک است (Soleymanifard et al., 2010).

مقایسه میانگین ساده برای شاخص حساسیت به تنش نشان داد، ژنوتیپ‌های 312-S6-692 به دلیل کاهش شدید عملکرد دانه در شرایط تنش، کمترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص داد، کمترین مقدار شاخص حساسیت به تنش

به ژنوتیپ سینا متعلق بود (جدول ۳). ازنظر شاخص میانگین بهره‌وری بیشترین مقدار به ژنوتیپ PI-306974 متعلق بود که ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری با ارقام پدیده و سینا نداشت. کمترین مقدار شاخص میانگین بهره‌وری به ژنوتیپ PI-401478 اختصاص داشت (جدول ۳).

این مقایسات به‌خوبی تفاوت‌های موجود بین ژنوتیپ‌های گلرنگ متحمل و حساس ازنظر میزان تأثیرپذیری از شرایط تنش را نشان داده و صحت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس را تأیید می‌کند. این نتایج همچنین نشان می‌دهد ژنوتیپ سینا علیرغم داشتن، عملکرد دانه کم در شرایط بدون تنش، به دلیل عدم حساسیت زیاد به تنش با کاهش زیاد عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی انتهایی مواجه نشده و ازنظر شاخص حساسیت به تنش در پایین‌تر سطح قرار گرفته است. در بین تیمارهای منبع نیتروژن بیشترین شاخص میانگین بهره‌وری به کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلقیح ازتوباکتر+ ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن که ازنظر آماری در گروه یکسان قرار گرفتند، اختصاص داشت (جدول ۳). درحالی‌که تیمار تلقیح ازتوباکتر+ ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن نیز کمترین شاخص حساسیت به تنش را در بین تیمارهای منبع نیتروژن دارا بود، هرچند که با سایر تیمارهای منبع نیتروژن اختلاف معنی‌داری نداشت. این نتایج مبین این امر است که استفاده از ازتوباکتر همراه با مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن میزان آسیب حاصل از تنش خشکی را در گیاه گلرنگ کاهش می‌دهد. با توجه به گزارش ماتسومورا و همکاران (Matsumura et al., 2015) تعداد جمعیت ازتوباکتر در مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان در کنار مقادیر کم کود نیتروژن افزایش می‌یابد و همچنین با توجه به گزارش شهارونا و همکاران (Shaharoona et al., 2008) که معتقدند اثر بخشی تلقیح با باکتری‌های محرک رشد از جمله ازتوباکتر در سطوح پایین مصرف کودهای شیمیایی افزایش می‌یابد، زیرا در چنین شرایطی فعالیت زیاد ۱- آمینوسیکلوپروپان ۱- کربوکسیلات دی آمین‌آز باعث تولید کمتر بازدارنده رشد اتیلن در ریشه‌ها از طریق هیدرولیز ACC به NH_3 و آلفاکتوبوتیرات شده و این موضوع باعث افزایش رشد ریشه و به دنبال آن افزایش سطح مؤثر ریشه می‌شود که درنهایت منجر به افزایش جذب آب و مواد غذایی شده به گیاه کمک می‌کند تا با کمبود آب مقابله کند (Irumet al., 2019).

بیشترین مقدار شاخص حساسیت به تنش و کمترین مقدار میانگین بهره‌وری به تیمار عدم مصرف کود شیمیایی نیتروژن (شاهد) متعلق بود؛ که این امر بیانگر آن است که منابع هیدروکربنی کافی در اندام‌های هوایی جهت انتقال به غوزه و پر کردن دانه در مواجه با تنش آبی آخر فصل تحت شرایط عدم مصرف کود نیتروژن تولید نمی‌شود و باعث افزایش شاخص حساسیت به تنش و کاهش میانگین بهره‌وری در این تیمار می‌شود. به همین دلیل است که اغلب پژوهشگران معتقدند، نیتروژن دومین عامل محدودکننده رشد گیاهان زراعی است (Ittersum et al., 2013).

نتایج برش‌دهی اثرات متقابل منبع نیتروژن و ژنوتیپ در جدول ۴ نشان داد، از لحاظ شاخص‌های تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول دهی در تیمارهای عدم کاربرد کود نیتروژن (شاهد) و تلقیح با ازتوباکتر ارقام سینا، پدیده و ژنوتیپ PI-306974 مقادیر بالایی را به خود اختصاص دادند به‌طوری‌که این ژنوتیپ‌ها از نظر این شاخص‌ها اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند، درحالی‌که در تیمارهای تلفیقی ازتوباکتر+ ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، ژنوتیپ PI-306974 با بیشترین مقدار شاخص‌های تحمل به تنش، تحمل به تنش تغییریافته برای شرایط بدون تنش (K1STI) و میانگین هندسی محصول‌دهی اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارا بود (جدول ۴). ژنوتیپ PI-306974 از مقدار شاخص تحمل بالاتری نیز نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در تیمارهای تلفیقی و کاربرد ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن برخوردار بوده (جدول ۴)؛ یعنی کاهش عملکرد بیشتری را نیز تجربه کرده است، شاخص تحمل (TOL) به‌تنهایی نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت انتخاب ژنوتیپ‌هایی که برتری نسبی یکنواختی در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش دارد محسوب شود؛ زیرا انتخاب بر اساس این شاخص منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی در شرایط تنش خشکی و عملکرد نسبتاً کمی در شرایط بدون تنش دارند. اما با توجه به بالا بودن شاخص‌های تحمل به تنش، تحمل به تنش تغییریافته برای شرایط بدون تنش (K1STI)، میانگین هندسی محصول‌دهی و عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی این ژنوتیپ را می‌توان به‌عنوان یک ژنوتیپ متحمل به خشکی در شرایط کاربرد تلفیقی ازتوباکتر+ ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی

نیتروژن معرفی نمود؛ زیرا ژنوتیپ‌هایی متحمل‌تر محسوب می‌شود که مقادیر بیشتری از شاخص‌های میانگین هندسی محصول‌دهی، شاخص تحمل به تنش و شاخص تحمل به تنش تغییریافته را کسب کرده باشد (Sadeghzadeh Hemayati and Fasahat, 2016).

جدول ۴. مقایسه میانگین پس از برش‌دهی اثرات متقابل منبع نیتروژن و ژنوتیپ بر روی شاخص‌های تحمل، میانگین هندسی محصول‌دهی، تحمل به تنش تغییریافته و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش

Table 4.Mean comparison after slicing the interaction effects of nitrogen source and genotype on tolerance, geometric mean productivity,modified stress tolerance and grain yield non stress conditions

ترکیب تیماری Treatment combination		YP	TOL	GMP	STI	K_1STI	K_2STI
		kg. h^{-1}					
N0†	312-S6-692	1480^{b}	780^{a}	1016^{b}	0.325^{b}	0.68^{bc}	0.54^{c}
	PI-401478	1265^{d}	560^{b}	941^{c}	0.279^{c}	0.60^{c}	0.55^{bc}
	PI-253895	1383^{c}	670^{ab}	992^{b}	0.310^{bc}	0.50^{d}	0.56^{bc}
	PI-306974	1579^{a}	768^{a}	1130^{a}	0.401^{a}	0.78^{a}	0.72^{ab}
	پدیده	1515^{ab}	699^{ab}	1111^{a}	0.3888^{a}	0.72^{ab}	0.73^{ab}
	سینا	1476^{b}	601^{b}	1136^{a}	0.405^{a}	0.68^{bc}	0.84^{a}
N1	312-S6-692	1598^{b}	833^{a}	1104^{bc}	0.384^{bc}	0.80^{bc}	0.65^{c}
	PI-401478	1505^{c}	743^{ab}	1070^{c}	0.361^{c}	0.71^{c}	0.65^{c}
	PI-253895	1557^{bc}	740^{ab}	1126^{b}	0.400^{b}	0.76^{bc}	0.74^{b}
	PI-306974	1712^{a}	792^{a}	1253^{a}	0.493^{a}	0.92^{a}	0.93^{ab}
	پدیده	1729^{a}	789^{a}	1272^{a}	0.510^{a}	0.93^{a}	0.98^{a}
	سینا	1616^{b}	610^{b}	1274^{a}	0.510^{a}	0.82^{b}	1.12^{a}
N2	312-S6-692	1902^{c}	1011^{b}	1301^{d}	0.532^{d}	1.13^{bc}	0.88^{c}
	PI-401478	1764^{c}	799^{cd}	1299^{d}	0.535^{d}	1.09^{c}	1.06^{e}
	PI-253895	1865^{c}	814^{cd}	1396^{c}	0.617^{c}	0.97^{c}	1.25^{bc}
	PI-306974	2311^{a}	1158^{a}	1631^{a}	0.837^{a}	1.68^{a}	1.47^{ab}
	پدیده	2033^{b}	884^{c}	1525^{b}	0.734^{b}	1.29^{b}	1.48^{ab}
	سینا	1929^{c}	703^{d}	1536^{b}	0.745^{b}	1.17^{bc}	1.67^{a}
N3	312-S6-692	2051^{c}	1148^{ab}	1360^{d}	0.582^{c}	1.32^{c}	0.90^{d}
	PI-401478	1923^{d}	1001^{bc}	1331^{d}	0.560^{c}	1.16^{c}	0.95^{cd}
	PI-253895	2006^{cd}	924^{c}	1471^{c}	0.682^{bc}	1.26^{c}	1.31^{bc}
	PI-306974	2384^{a}	1188^{a}	1688^{a}	0.896^{a}	1.78^{a}	1.58^{ab}
	پدیده	2190^{b}	1023^{ab}	1596^{b}	0.802^{ab}	1.50^{b}	1.52^{ab}
	سینا	2063^{c}	756^{d}	1641^{ab}	0.847^{a}	1.33^{c}	1.89^{a}

† N0، N1، N2 و N3 به ترتیب عدم مصرف کود و بدون تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با ازتوباکتر+ ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و ۱۰۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن.

Yp: عملکرد دانه در شرایط بدون تنش TOL: شاخص تحمل؛ GMP: میانگین هندسی محصول‌دهی STI: شاخص تحمل به تنش؛ K_1STI: شاخص تحمل به تنش تغییریافته در شرایط بدون تنش K_2STI: شاخص تحمل به تنش تغییریافته برای شرایط تنش خشکی

میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ با استفاده از آزمون دانکن ندارند

† N0: without application of fertilizer and non-inoculation, N1: inoculation with *Azotobacter chorococum,* N2: inoculation with *Azotobacter chorococum*+50% Nitrogen chemical fertilizer, N3: 100% Nitrogen chemical fertilizer.

Y_P: grain yield non stress conditions, TOL: tolerance index, GMP: geometric mean productivity, STI: stress tolerance index, K_1STI: modified stress tolerance index in non-stress conditions, K2STI:modified stress tolerance index drought stress conditions

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

منزس و همکاران (Menezes et al., 2014) و آکتاس (Aktas, 2016) نیز شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP) را شاخص‌های مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی معرفی کردند. رقم سینا از لحاظ شاخص تحمل (TOL) در تمامی تیمارهای منبع نیتروژن کمترین مقدار را به خود اختصاص داد، به عبارتی تفاوت عملکرد این ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی و بدون تنش کم است و این موضوع بیشتر ارزش فیزیولوژیکی دارد (Naghavi et al., 2016). از نظر شاخص تحمل به تنش تغییریافته برای شرایط تنش خشکی (K2STI) در تمامی تیمارهای منبع نیتروژن بیشترین مقدار را داشت (جدول ۴)، همچنین این رقم در شرایط تنش

خشکی نیز بیشترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص داد؛ که نشان‌دهنده تحمل بالای این رقم به تنش خشکی است.

با توجه به آنچه بیان شد، نتیجه گرفته می‌شود که شاخص تحمل به تنش تغییریافته از کارایی بالایی برخوردار است. کمترین مقدار شاخص‌های تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول‌دهی، تحمل به تنش تغییریافته در شرایط تنش و بدون تنش در صورت عدم کاربرد کود شیمیایی نیتروژن و تیمار تلقیح با ازتوباکتر به ژنوتیپ PI-401478 متعلق بود که اختلاف معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها در این تیمارها داشت (جدول ۴) که نشان‌دهنده حساسیت به تنش خشکی ژنوتیپ 312-S6-692 تحت شرایط مصرف کود شیمیایی نیتروژن است؛ بنابراین کشت این ژنوتیپ در خاک‌های فقیر از نظر نیتروژن در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های موجود قابل توصیه نیست. درحالی‌که در تیمارهای تلفیقی و مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن کمترین مقدار به ژنوتیپ‌های 312-S6-692 و PI-401478 متعلق بود (جدول ۴).

به‌منظور بررسی ژنوتیپ‌ها و انتخاب متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط مختلف مصرف منبع کود نیتروژن تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش انجام گردید. بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشخص گردید که در شرایط کاربرد ازتوباکتر اولین مؤلفه ۷۶/۲۱ درصد از تغییرات واریانس کل را توجیه نمود (جدول ۵). این مؤلفه با شاخص‌های میانگین هندسی محصول‌دهی، میانگین محصول‌دهی، شاخص تحمل به تنش، تحمل به تنش تغییریافته (K1STI و K2STI) و عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش از همبستگی بسیار مثبت و بالایی برخوردار بود (جدول ۵)؛ بنابراین مؤلفه اول را می‌توان به‌عنوان مؤلفه پتانسیل و پایداری عملکرد و تحمل به خشکی نام‌گذاری کرد.

جدول ۵. مقادیر ویژه و بردارهای ویژه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس مقادیر شاخص‌های تحمل و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت تنش خشکی و بدون تنش در منابع مختلف نیتروژن

Table 5. Eigen values and eigen vectors, the results of principal component analysis based on values of the drought tolerance indices and grain yield safflower genotypes under non-stress and drought stress in different nitrogen source

		N1		N2		N3	
Nitrogen source	منبع نیتروژن	مؤلفه اول First component	مؤلفه دوم Second component	مؤلفه اول First component	مؤلفه دوم Second component	مؤلفه اول First component	مؤلفه دوم Second component
Eigen value	مقادیر ویژه	6.85	2.01	5.85	3.06	6.97	2.01
Proportion (%)	سهم	76.21	22.43	65.4	34.09	77.50	22.35
Cumulative (%)	درصد تجمعی	76.21	98.65	65.04	99.14	77.50	99.86
Y_P		0.78	0.61	0.85	0.51	0.73	0.68
Y_S		0.98	-0.16	0.88	-0.45	0.96	-0.26
SSI		-0.81	0.58	-0.26	0.96	-0.62	0.72
TOL		-0.40	0.91	0.29	0.95	-0.22	0.97
MP		0.99	0.07	0.99	-0.04	0.99	0.06
GMP		0.99	0.08	0.99	-0.01	0.99	0.08
STI		0.99	0.08	0.99	-0.06	0.99	0.09
K_1STI		0.79	0.61	0.79	0.55	0.71	0.69
K_2STI		0.97	-0.20	0.87	-0.48	0.95	-0.28

N1، N2 و N3 به ترتیب تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با ازتوباکتر+ ۵۰ درصد کود نیتروژن و ۱۰۰ درصد مصرف کود نیتروژن.

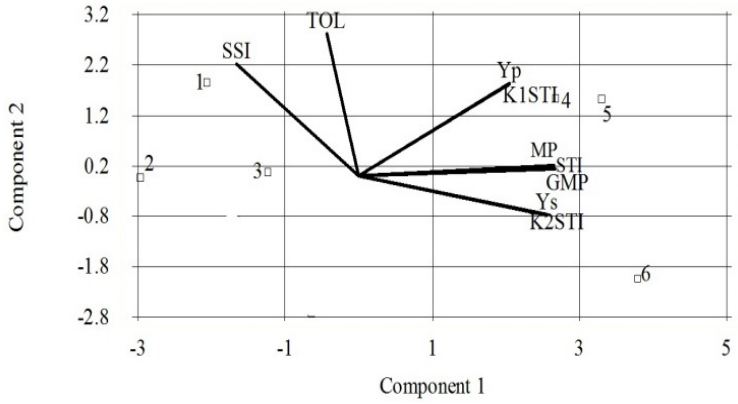
Yp: عملکرد دانه در شرایط بدون تنش Ys: عملکرد در شرایط تنش خشکی SSI: شاخص حساسیت به تنش؛ TOL: شاخص تحمل؛ MP: شاخص متوسط بهره‌وری؛ GMP: میانگین هندسی محصول‌دهی STI: شاخص تحمل به تنش؛ K_1STI: شاخص تحمل به تنش تغییریافته در شرایط بدون تنش K_2STI: شاخص تحمل به تنش تغییریافته برای شرایط تنش خشکی

N1, N2 and N3 inoculation with *Azotobacterchorococum,* inoculation with *Azotobacter chorococum*+50% Nitrogen fertilizer, 100%Nitrogen fertilizer

Y_P: grain yield non stress conditions, TOL: tolerance index, GMP: geometric mean productivity, STI: stress tolerance index, K_1STI: modified stress tolerance index in non-stress conditions, K2STI: modified stress tolerance index drought stress conditions

با توجه به این‌که میزان بالای این شاخص‌ها برای ما مطلوب است لذا بر روی بای پلات به‌دست‌آمده اگر به مقادیر مثبت و بالای این مؤلفه توجه نماییم، می‌توانیم ژنوتیپ‌هایی را که دارای عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی در شرایط کاربرد ازتوباکتر هستند را انتخاب کنیم. دومین مؤلفه ۲۲/۴۳ درصد از کل تغییرات داده‌ها را بیان نمود، برای شاخص‌های تحمل، حساسیت به خشکی، تحمل به تنش تغییریافته (K1STI) و عملکرد در شرایط آبی همبستگی مثبت و بالایی نسبت به سایر شاخص‌ها نشان داد (جدول ۵). لذا مؤلفه دوم را می‌توان به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش نام‌گذاری کرد. با توجه به دو مؤلفه، هر چه ژنوتیپ‌ها مقدار مؤلفه اول بیشتر و مؤلفه دوم کمتری داشته باشند به خشکی متحمل‌تر می‌باشند.

بنابراین ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست و پایین شکل ۲ قرار گیرند می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل گزینش شوند. با توجه به توضیحات ارائه شده رقم سینا (ژنوتیپ شماره شش) متحمل‌ترین ژنوتیپ تحت تنش خشکی در شرایط کاربرد ازتوباکتر است. ژنوتیپ‌های 312-S6-692، PI-401478 و PI-253895 (ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲ و ۳) در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص تحمل (TOL) و حساسیت به تنش (SSI) قرارگرفته‌اند که به معنی بالا بودن حساسیت آن‌ها در شرایط استفاده از ازتوباکتر به کمبود آب است (شکل ۲)؛ و این عکس‌العمل متفاوت نشانگر پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط استفاده از ازتوباکتر تحت تنش خشکی است که با گزارش فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2019) در بررسی بر روی هیبریدهای ذرت مطابقت دارد.

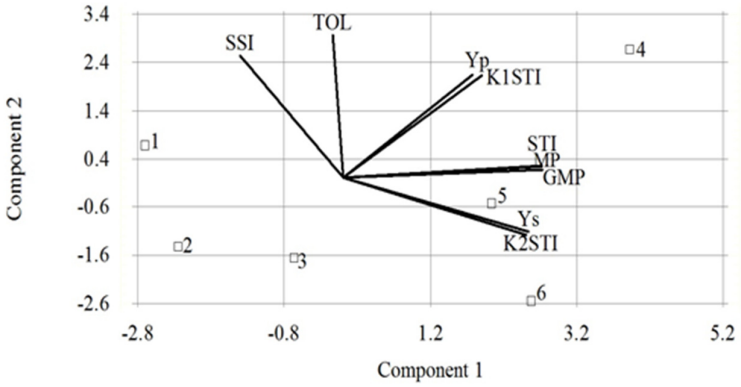


شکل ۲. نمایش بای‌پلات شاخص‌های تحمل به خشکی در شش ژنوتیپ گلرنگ بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم در تلقیح با ازتوباکتر

Fig.2. Biplot diagram of drought tolerance indices in six safflower genotypes based on first and second components in inoculation with *Azotobacter chorococum*.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در تیمار تلفیقی ازتوباکتر+۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن نشان داد که دو مؤلفه اول و دوم ۶۵/۴ و ۳۴/۰۹ درصد واریانس‌ها را توضیح دادند، به‌طوری‌که مؤلفه اول همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های میانگین هندسی محصول دهی، میانگین محصول‌دهی، تحمل به تنش، تحمل به تنش تغییریافته در شرایط بدون تنش (K1STI)، تحمل به تنش تغییریافته در شرایط تنش خشکی (K2STI) و عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش دار بود (جدول ۵). مؤلفه دوم با شاخص‌های حساسیت به خشکی، تحمل (TOL)، تحمل به تنش تغییریافته در شرایط تنش خشکی (K1STI) و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش دارای همبستگی مثبت و بالایی بوده است (جدول ۵). بر اساس بای پلات ترسیم‌شده (شکل ۳) در شرایط کاربرد ازتوباکتر+ ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن ملاحظه می‌شود، ارقام سینا و پدیده (ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۶) که در ناحیه پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی قرارگرفته‌اند، درحالی‌که در شرایط مصرف ازتوباکتر تنها ژنوتیپ سینا در ناحیه پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی قرار گرفت، می‌توان

چنین نتیجه گرفت که رقم پدیده برای تحمل به خشکی بیشتر علاوه بر تلقیح با ازتوباکتر نیازمند کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن در خاک است. همچنین این نتایج بیانگر عکس‌العمل غیر یکسان ژنوتیپ‌های گلرنگ از نظر تحمل به تنش در سطوح مختلف مصرف ازتوباکتر و کود شیمیایی نیتروژن است. تأثیرپذیری تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گلرنگ نسبت به منبع کودی مخصوصاً کودهای زیستی توسط سایر محققین تأیید شده است (Ahmadpour Abnvi et al., 2019).

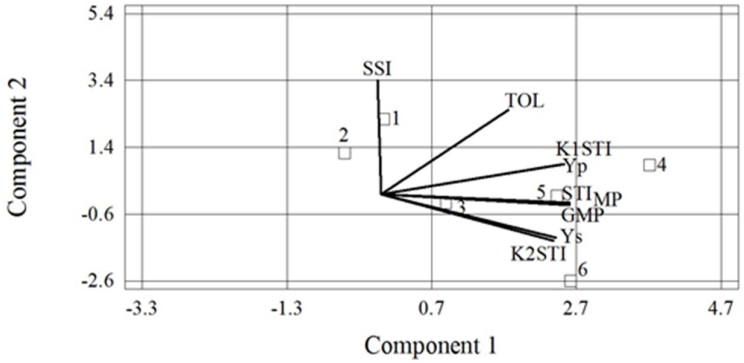


شکل ۳. نمایش بای پلات شاخص‌های تحمل به خشکی در شش ژنوتیپ گلرنگ بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم در تیمار ازتوباکتر+۵۰ درصد مصرف کود نیتروژن

Fig. 3. Biplot diagram of drought tolerance indices in six safflower genotypes based on first and second components in inoculation with *Azotobacter chorococum*+50% Nitrogen fertilizer.

نتایج جدول ۵ مشخص نمود که دو مؤلفه اول در شرایط مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن بیش از ۹۹ درصد واریانس کل را به خود اختصاص دادند، از این مقدار مؤلفه اول ۷۷/۵ درصد و مؤلفه دوم ۲۲/۳۵ درصد را شامل می‌شد. مؤلفه اول همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش و شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP)، میانگین محصول‌دهی (MP) و تحمل به تنش تغییریافته (K1STI, K2STI) نشان داد. این مؤلفه با شاخص حساسیت به تنش (SSI) از همبستگی منفی و بالایی و با شاخص تحمل (TOL) نیز از همبستگی منفی ولی پایین برخوردار بود (جدول ۵). مؤلفه دوم برای شاخص‌های تحمل (TOL)، حساسیت به تنش (SSI) و تحمل به تنش تغییریافته در شرایط بدون تنش (K1STI) و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش از همبستگی مثبت و بالاتری نسبت به سایر شاخص‌ها در شرایط مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن برخوردار بود (جدول ۵). با توجه به این نتایج و شکل ۴ مشخص گردید ژنوتیپ‌هایی که دارای مؤلفه اول بزرگ‌تر و مؤلفه دوم کوچک‌تر باشند، در شرایط کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن به تنش خشکی متحمل‌تر می‌باشند. رقم سینا (ژنوتیپ شماره ۶) در سمت راست و پایین نمودار قرار گرفته است که متحمل‌ترین ژنوتیپ در شرایط مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن محسوب می‌شود. محققین دیگر نیز با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی توانسته‌اند ژنوتیپ‌های مختلف با صفات متفاوت در گونه‌های گیاهی مختلف را گزینش نمایند (Shafighi et al., 2021; Feiziasl et al., 2014). با در نظر گرفتن طول بردارها (تفکیک شاخص‌ها) و زاویه بین آن‌ها (همبستگی شاخص‌ها) در نمودارهای بای پلات مشخص گردید زاویه بین شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP)، میانگین محصول‌دهی (MP)، تحمل به تنش تغییریافته (K1STI، K2STI) و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش حاده است که دلالت بر وجود همبستگی بالا بین این شاخص‌ها و عملکرد در هر دو شرایط آزمایش است؛ بنابراین در گزینش ژنوتیپ‌ها برای هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش، این شاخص‌ها معیار مناسبی هستند که با گزارش دولتی‌پشم و همکاران (Doulati Pasham et al., 2019) مطابقت دارد. همبستگی بالا بین دو شاخص حساسیت به تنش (SSI) و تحمل نیز در نمودار بای پلات در شرایط مصرف ازتوباکتر +۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن

مشهودتر است (شکل ۳). با توجه به نتایج این آزمایش مشخص گردید که تلقیح با ازتوباکتر و مصرف کود شیمیایی نیتروژن درجه تحمل و حساسیت ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش خشکی را تغییر می‌دهد این موضوع می‌تواند به دلیل واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به ازتوباکتر و کود شیمیایی نیتروژن باشد.



شکل ۴. نمایش بای پلات شاخص‌های تحمل به خشکی در شش ژنوتیپ گلرنگ بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم در تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

Fig. 4. Biplot diagram of drought tolerance indices in six safflower genotypes based on first and second components in 100% nitrogen fertilizer.

نتیجه‌گیری نهایی

در این تحقیق مشخص گردید واکنش ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ به منبع نیتروژن تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش متفاوت است، بنابراین جهت کاهش هزینه مصرف کود شیمیایی نیتروژن و کاهش اثرات سوء زیست‌محیطی برای ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط تنش خشکی تلقیح با ازتوباکتر +۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی نیتروژن و در شرایط بدون تنش مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه می‌گردد. رقم سینا در شرایط تلقیح با ازتوباکتر و مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، رقم پدیده علاوه بر رقم سینا در تیمار کاربرد تلفیقی ازتوباکتر+ ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن بیشترین تحمل را به تنش خشکی داشتند؛ بنابراین در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی به فاکتور منبع نیتروژن توجه ویژه‌ای معطوف گردد.

منابع

Amini, H., Arzani, A., Karami. M., 2014. Effect of water deficiency on seed quality and physiological traits of different safflower genotypes. Turkish Journal of Biology. 38, 271- 282.

Ayadi, S., Karmous, C., Chamekh, Z., Hammami, Z., Baraket, M., Esposito, S., Rezgui, S., Trifa. Y., 2015. Effects of nitrogen rates on grain yield and nitrogen agronomic efficiency of durum wheat genotypes under different environments. Annals of Applied Biology. 168, 264-273.

Barbottin, A., Lecomte, C., Bouchard, C., Jeuffroy, M., 2005. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. Crop Science. 45, 1141-1150.

AhmadpourAbnvi, S., Ramroudi, M., Galavi, M., Shamsaddinsaied, M., 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under low irrigation conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 29, 269-284. [In Persian with English Summary].

Aktas, H., 2016. Drought tolerance indices of selected landraces and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes derived from synthetic wheats. Applied Ecology and Environmental Research. 14, 177-189.

Allen R.G., Pereira L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. AOAC Press Inc, Washington.

DoulatiPasham, K., Akbarpour, O., Eisvand, H., 2019. Evaluating drought tolerance indices in bread wheat cultivars using bootstrap method. Cereal Research. 8, 455-469. [In Persian with English Summary].

Fanaei, H.R., Narouirad. M.R., 2014. Study of yield, yield components and tolerance to drought stress in safflower genotypes. Journal of Crop Production. 7, 33-51. [In Persian with English Summary].

Farshadfar, E., Sutka. J., 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomica Hungarica. 50, 411– 416.

Farshadfar, M., Safari, H., Shirvani, H., Amjadian, M., Rahmati, H., 2019. Study of drought stress of hybrid corns (*Zea mays*) using drought tolerance indices. Journal of Plant Production Sciences. 8, 95-106. [In Persian with English Summary].

Feiziasl, V., Fotovat, A., Astarae, A. R., Lakzian, A., Mousavi, S.B., 2014. Effect of optimized nitrogen application in reducing drought stress effect on grain yield of some rainfed bread wheat genotypes. Seed and Plant Production Journal. 30, 169-198. [In Persian with English Summary].

Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. p. 257-270. in C.G. Kuo (ed.). Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, 13-18 Aug. 1992. The World Vegetable Center, Tainan, Taiwan.

Fischer, A. A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars grain yield response. Australian Journal of Agriculture Research. 29, 894-912.

Gadri, K., Mohammadi, S., Dadashi, M., Majidi, A., 2020. The response of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes to nitrogen fertilizer application under normal irrigation and drought stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 13, 73-84. [In Persian with English Summary].

Irum, A. QTahir,., M. M., Abbasi, M. K., Ali, A., Rasheed. A., 2019. Morphological and phenological responses of sunflower to nitrogen fertilization and plant growth promoting rhizobacteria under rainfed conditions in Pakistan: Morpho-phenological responses of sunflower to plant growth promoting rhizobacteria and nitrogen. Life and Environmental Sciences. 56, 41–48.

Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., Hochman, Z., 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. Field Crops Research. 143, 4-17.

Jnawali, A. D., Ojha, R. B., Marahatta. S. 2015. Role of Azotobacter in soil fertility and sustainability–a review. Advances in Plants Agriculture Research. 2, 250-253.

Kamaei, R., Faramarzi, F., Parsa, M., Jahan. M., 2019. The effects of biological, chemical, and organic fertilizers application on root growth features and grain yield of Sorghum. Journal of Plant Nutrition. 42, 2221-2233.

Kolaeiyan, A., Gholami SefidKuhi, M. 2012. Introducing the best method for determining the effective rainfall of rice cultivation in ghaemshahr. p. 129-137. Proceedings 3rd National Conference on Comprehensive Water Resources Management. 10-11 Sep. 2012. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. [In Persian].

Matsumura, E. E., Secco, V. A., Moreira, R. S., Santos, O. J. P., Hungria, M., Oliveira, A.L.M., 2015. Composition and activity of endophytic bacterial communities in field-grown maize plants inoculated with *Azospirillum brasilense*. Annals of Microbiology. 65, 2187–2200.

Menezes, C. B., Ticona-Benavente, C.A., Tardin, F.D., Cardoso, M.J., Bastos, E.A., Nogueira, D.W., Portugal, A.F., Santos, C.V., Schaffert. R.E., 2014. Selection indicesto identify drought-tolerant grain sorghum cultivars. Genetics and Molecular Research. 13, 9817-9827.

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 with English Summary].

Naghavi, M.R., Moghadam, M., Toorchi, M., Shakiba. M.R., 2016. Evaluation of spring wheat cultivars based on drought resistance indices. Journal of Crop Breeding. 8, 192-207.

Omidi, A. H., Khazaei, H., Monneveux, P., Stoddard. F., 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.

Rosielle, A. A., Hamblin, J. 1984. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science. 21, 943-946.

Sadeghzadeh Hemayati, S., Fasahat, F., 2016. Evaluation of drought tolerance indices and their correlations in sugar beet lines. Journal of Sugar Beet. 32, 13-27. [In Persian with English Summary].

Sedlar, O., Balik, J., Kozlovsky, O., Peklova, L., Kubesova, K., 2013. Dynamics of the nitrogen uptake by spring barley at injection application of nitrogen fertilizers. Plant, Soil and Environment. 59, 392–397.

Shafighi, A., Ardakani, M., Shirani Rad, A., AlaviFazel, M., Rafiei, F., 2021. Identification of tolerate rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars to drought tolerance indices under late sowing date. Journal of Crop Ecophysiology. 15, 73-90. [In Persian with English Summary].

Shaharoona, B., Naveed, M., Arshad, M., Zahir. Z.A., 2008. Fertilizer-dependent efficiency of Pseudomonads for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). Applied and Environmental Microbiology. 79, 147–155.

Soleymanifard, A., Fasihi, K., Nasrirad, H., Naseri. R., 2012. Evolution of stress tolerance indices in durum wheat genotypes. Journal of Plant Production Research. 17, 39-58. [In Persian with English Summary].

Takeda, S., Matsuoka, M., 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population change. Nature. 9, 444-457.

Yari, P., Keshtkar, A., Sepehri. A., 2015. Evaluation of water stress effect on growth and yield of spring safflower. Plant Production Technology. 6, 101-117. [In Persian with English Summary].