

ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Cartamus tinctorius* L.) تحت شرایط تنش کم‌آبیاری

سیده زهرا حسینی^۱، احمد اسماعیلی^{۲*} و سید سجاد سهرابی^۱

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۴ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶)

چکیده

خشک‌سالی یکی از عوامل مهم محدودکننده تولید در جهان است و کاربرد روش‌های به‌نژادی یک راهکار اساسی در تولید ارقام متحمل و سازگار به تنش خشکی می‌باشد. به‌منظور بررسی و تعیین مؤثرترین شاخص‌های تحمل به تنش و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، ۱۵ ژنوتیپ گلرنگ، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط (تنش کم‌آبیاری و بدون تنش)، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه، شاخص‌های مقاومت به تنش و نیز عملکرد در دو شرایط محیطی تنش و بدون تنش وجود دارد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه در شرایط تنش با شاخص تحمل تنش میانگین هارمونیک و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری برآورد شد و نشان داد که این شاخص‌ها برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مناسب می‌باشند. بین شاخص‌های حساسیت به تنش و شاخص تحمل با عملکرد دانه در شرایط تنش هیچ رابطه معنی‌داری دیده نشد، بنابراین این شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مناسب نبودند. در مجموع با استفاده از نمودار پراکنش سه‌بعدی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه بای‌پلات، دو ژنوتیپ ۶ (*Syrian*) و ۸ (*Kino-76*) به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها برای شرایط تنش خشکی و پر عملکردترین ژنوتیپ‌ها برای شرایط بدون تنش انتخاب شدند.

واژگان کلیدی: تجزیه بای‌پلات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، شاخص تحمل تنش، گلرنگ

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: ismaili.a@lu.ac.ir

مقدمه

گیاهان در مراحل مختلف رشد و نمو خود با تنش‌های زیستی و غیرزیستی مواجه می‌شوند. در این بین تنش خشکی مهم‌ترین عامل غیرزیستی است که با گرم شدن کره زمین و احتمال رخداد خشک‌سالی بیشتر، انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ عملکرد محصولات کشاورزی در ۵۰ درصد زمین‌های کشاورزی جهان را با خطر جدی مواجه سازد که این امر موجب کاهش چشمگیر تولید محصولات غذایی خواهد شد (Ahmad et al., 2014). کشور ایران نیز با میانگین بارندگی سالیانه ۲۴۰ میلی‌متر در زمره کشورهای خشک جهان به‌شمار می‌آید (Shirani Rad et al., 2010).

میزان مصرف روغن خوراکی در کشور ما بیش از یک میلیون تن در سال بوده و از این مقدار ۹۰ تا ۹۵ درصد از طریق واردات تأمین می‌شود که سالانه بیش از یک میلیارد دلار از کشور خارج می‌شود (Sharifi Moghadas, 2009). دانه‌های روغنی مهم‌ترین منبع تولید روغن خوراکی می‌باشند. از بین دانه‌های روغنی سازگار با شرایط آب و هوایی کشور، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه به‌عنوان گیاه مقاوم به تنش شوری و خشکی به‌شمار می‌رود. با توجه به سازگاری این گیاه به مناطقی با بارندگی زمستانه و بهاره اندک و هوایی خشک در طول دوره گل‌دهی و با داشتن ریشه‌های طویل که توان جذب آب بالایی دارند، گیاهی مناسب برای کشت دیم در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Kar et al., 2007; Yau et al., 1991). در سال‌های اخیر اهمیت روغن گلرنگ با توجه به کاربرد آن در تولید سوخت‌های زیستی نیز افزایش یافته است (Dordas and Sioulas, 2008).

با این حال در وضعیت کنونی که جهان در بحران کم‌آبی به سر می‌برد، تغییرات حاصل از تنش خشکی تولیدات کشاورزی را در مناطق گسترده‌ای از جهان از جمله ایران، با محدودیت روبرو می‌سازد (Golzar et al., 2012; Shabani et al., 2016) که در این شرایط دستیابی به ارقامی که

بتواند در هر دو شرایط آبیاری معمول و یا تنش کم‌آبیاری محصول بیشتر و مطمئن‌تری تولید کنند اهمیت بسیار زیادی می‌یابد (Askar et al., 2010). شاخص‌های متفاوتی جهت گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس تظاهر آن‌ها در محیط‌های با شرایط دشوار و عادی ارائه شده است (Fernandez, 1992). عموماً برای تعیین تحمل نسبی تنش در ژنوتیپ‌های مورد استفاده، از شاخص حساسیت (SSI^1) به تنش استفاده می‌شود. هر چه مقدار این شاخص‌ها کوچک‌تر باشد، میزان مقاومت به خشکی بیشتر است. انتخاب بر اساس این شاخص سبب گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط مطلوب ولی عملکرد مناسب در شرایط تنش می‌شود (Fischer and Maurer, 1978). همچنین شاخص‌های دیگر تحمل (TOL^2) به‌صورت اختلاف عملکرد در شرایط تنش (Ys^3) و شرایط مطلوب (Yp^4) و نیز شاخص بهره‌وری متوسط (MP^5) به‌صورت میانگین عملکرد برای هر دو محیط ارائه شدند. مقادیر بالای شاخص تحمل نمایانگر حساسیت بیشتر به تنش خشکی بوده و هر چه مقادیر این شاخص پایین‌تر باشد، مطلوب‌تر خواهد بود (Rosielle and Hamblin, 1981). جهت شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و مطلوب، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP^6) و شاخص تحمل به تنش (STI^7) استفاده می‌شود. مقدار بالای شاخص تحمل به تنش برای یک ژنوتیپ، بیانگر تحمل به خشکی بالاتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ می‌باشد (Fernandez, 1992). از میانگین همساز عملکرد ($Harm^8$) در شرایط تنش و نرمال نیز در ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش استفاده می‌گردد (Safavi et al., 2013).

1. Stress Susceptibility Index
2. Tolerance Index
3. Yield under stress conditions
4. Yield under non-stress conditions
5. Mean Productivity
6. Geometric Mean Productivity
7. Stress Tolerance Index
8. Harmonic Mean

رشد ساقچه‌چه حساسیت بیشتری نسبت به رشد ریشه‌چه نشان داد و بنابراین عمق خروج گیاهچه کاهش خواهد یافت و متعاقب آن مدت‌زمان تا رسیدن دانه نیز به تأخیر می‌افتد (Jamshidi Moghadam and Pourdad, 2006).

با توجه به مطالب ذکر شده شناخت انواع تنش‌های زنده و غیرزنده و آگاهی از اثرات آن‌ها بر گیاهان و درک سازوکارهایی که موجودات زنده به‌ویژه گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی به کار می‌برند، برای دستیابی به اهداف بلندمدت تولید مانند ارتقاء کمیت و کیفیت محصولات، حفظ ثبات و پایداری کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Larcher, 2003). بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف مقایسه ارقام مختلف گلرنگ از نظر عملکرد در شرایط مطلوب و تنش کم‌آبی و شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب از نظر تحمل به تنش کم‌آبی در شرایط آب و هوایی خرم‌آباد به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با هدف بررسی اثر تنش خشکی روی ۱۵ ژنوتیپ گلرنگ پرکاربرد در مراکز تحقیقاتی با منشأ داخلی و خارجی (S-541, LRV-51-51, JL-111, Dincer, Lesaf, Syrian, Gila, Kino-76, Yenice, Zorqan-279, محلی اصفهان, Hartman, ورامین-295, Cyprus bregon و CW-74) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان (طول ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۲۵ متر) در دو محیط تنش کم‌آبیاری و بدون تنش به‌طور جداگانه انجام گرفت. هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط به طول ۴ متر با فواصل خطوط ۴۰ سانتی‌متر بود که فاصله بین کرت‌ها ۸۰ سانتی‌متر، فاصله بین تکرارها (بلوک‌ها) ۲ متر و فاصله بین دو محیط ۱۰ متر در نظر گرفته شد. تهیه زمین و عملیات شخم در آبان‌ماه و عملیات کاشت در اسفندماه انجام شد. میزان بذر مصرفی حدود ۲۵ کیلوگرم در هکتار (۴۵۰ هزار بوته در هکتار) بود.

در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی تحمل به خشکی ۱۰ لاین و رقم مختلف گلرنگ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت صورت گرفت مشخص شد که شاخص STI برای تعیین متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی و شاخص‌های TOL و SSI برای تعیین حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی مناسب می‌باشند (Golkar et al., 2012). در مطالعه‌ای دیگر به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) و شاخص تحمل خشکی (STI) دیده شد و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که مؤلفه‌های اول و دوم به‌طور مجموع ۹۸/۴۵ درصد از تغییرات را توجیه می‌کنند (Safavi et al., 2013).

تحقیقات در مورد اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه در مناطق مختلف، نشان می‌دهد که عملکرد دانه گلرنگ از ۱ تا ۳/۳ تن در هکتار متغیر است (Sio-Se Mardeh et al., 2006). در مطالعه‌ای با هدف مطالعه آثار تنش خشکی آخر فصل (تیمارهای مختلف آبیاری در زمان‌های متفاوت از اواخر گل‌دهی تا رسیدگی دانه) روی عملکرد دانه و روغن و اجزای عملکرد در ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ، نتایج نشان داد که در شرایط تنش صفات قطر طبق، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و روغن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (Paseban Eslam, 2011). با بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ۲۶ رقم، لاین و جمعیت گلرنگ در دو سال در شرایط نیمه‌خشک، ارقام Hama, Syria, Hartinan و لاین S-541-2 دارای بیشترین عملکرد دانه و لاین‌های ۲۵۰۵۴۰ و S-541-2 دارای بیشترین محتوای روغن بودند (Beyyavas et al., 2011).

به‌منظور ارزیابی ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت تنش رطوبتی در شرایط کنترل شده و در مزرعه ۱۵ ژنوتیپ را در ۴ سطح رطوبتی شامل صفر (شاهد)، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ مگاپاسگال به‌وسیله محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ مورد آزمون جوانه‌زنی قرار دادند. نتایج نشان داد که با کاهش رطوبت

$$\text{Harm} = \frac{2}{\frac{1}{Y_p} + \frac{1}{Y_s}} \quad \text{رابطه (۶) (Harm)}$$

در روابط بالا Y_s ، عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ تحت شرایط تنش؛ Y_p ، عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش؛ $\bar{Y}_s$ ، میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش؛ $\bar{Y}_p$ ، میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط بدون تنش می‌باشد.

مقایسات میانگین صفات با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت. برای اینکه تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها به‌طور دقیق‌تر محاسبه و به اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط نسبت داده نشود، تجزیه مرکب انجام شد تا بر اساس آن اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط محاسبه و از اثر واقعی ژنوتیپ‌ها جدا شده و واریانس حقیقی ژنوتیپ‌ها مورد آزمون قرار گیرد. در این تجزیه، ژنوتیپ به‌عنوان فاکتور ثابت و محیط به‌عنوان فاکتور تصادفی آزمایشی در نظر گرفته شد و آزمون فرض معنی‌دار بودن تفاوت حقیقی بین ژنوتیپ‌ها بر مبنای امیدریاضی میانگین مربعات منابع تغییر مختلف انجام شد. از تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ در صفت (GT) برای تشخیص الگوها و روابط بین ژنوتیپ‌ها و صفات مورد مطالعه استفاده شد.

به‌منظور بررسی روابط بین صفات و نحوه تأثیر آن‌ها بر یکدیگر ضرایب همبستگی بین صفات از طریق آزمون همبستگی پیرسون محاسبه شد. رابطه بین شاخص‌های تحمل و صفات مورد مطالعه مخصوصاً عملکرد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و بر اساس آن شاخص‌ها متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها مشخص شد. برای تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای EXCEL 2013، GGE Biplot v6.3 و SAS v9.1 کمک گرفته شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس برای صفات مهم مرتبط با عملکرد نشان داد که در شرایط بدون تنش برای صفاتی مثل ارتفاع بوته، تعداد

مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز در سه نوبت در هر دو محیط از مراحل اولیه رشد تا رسیدن ارتفاع بوته به حدود ۴۰ سانتی‌متر انجام گرفت. تنک کردن بوته‌ها به‌منظور دستیابی تراکم مطلوب پس از استقرار کامل گیاهچه‌های گلرنگ بر اساس فاصله ۱۰ سانتی‌متر بوته‌ها روی ردیف کاشت به‌صورت هم‌زمان در هر دو محیط انجام گرفت. پس از انجام عملیات کاشت به‌منظور رسیدن به سطح یکنواخت، هر دو قطعه در چندین نوبت در مراحل اولیه رشد گلرنگ به‌صورت هم‌زمان هر ۱۴ روز یک‌بار آبیاری می‌شدند. به‌منظور اعمال تنش خشکی، در مراحل گل‌دهی و دانه‌بندی آبیاری در محیط تحت تنش قطع شد اما در محیط بدون تنش ادامه یافت. جهت اطمینان از اعمال تنش آب، اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی قبل و بعد از اعمال تنش صورت گرفت.

به‌منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها صفات گیاهی شامل صفات قطر ساقه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن دانه در طبق، وزن دانه در کل تک بوته، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و عملکرد کل در پنج بوته از هر رقم به‌طور تصادفی یادداشت‌برداری شد. در هر کرت دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی‌متر از دو انتها به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد.

شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به خشکی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به شرح زیر محاسبه شد (Biding et al., 1982; Fernandez, 1992; Fischer and

Maurer, 1978; Rosielle and Hamblin, 1981):

$$SSI = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}} \quad \text{رابطه (۱) (SSI)}$$

$$STI = \frac{Y_p \cdot Y_s}{(\bar{Y}_p)^2} \quad \text{رابطه (۲) (STI)}$$

$$TOL = Y_p - Y_s \quad \text{رابطه (۳) (TOL)}$$

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad \text{رابطه (۴) (MP)}$$

$$GMP = \sqrt{Y_p \cdot Y_s} \quad \text{رابطه (۵) (GMP)}$$

مطالعه تنش خشکی بر روی گلرنگ، کاهش تعداد طبق در بوته را مشاهده کردند (Bidinger et al., 1982; Beyyavas et al., 2011).

نتایج تجزیه واریانس مرکب در جدول ۳ ارائه شده است. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای تمامی صفات معنی‌دار بود، این بدین مفهوم است که ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط محیطی مختلف واکنش متفاوتی نشان داده‌اند. به عبارت دیگر پاسخ ژنوتیپ‌ها به محیط‌های مختلف از آزمایشی به آزمایش دیگر یکسان نیست. در هر دو شرایط بیشترین واریانس مربوط به عملکرد در واحد سطح کرت می‌باشد که نشان می‌دهد عملکرد در گلرنگ شدیداً تابع شرایط تنش و بدون تنش قرار می‌گیرد. وزن دانه در طبق، قطر ساقه و تعداد شاخه فرعی کم‌ترین واریانس را در تجزیه مرکب نشان دادند که می‌توان نتیجه گرفت صفات کمتر تحت تأثیر واریانس محیطی قرار دارند. به دلیل اثرات متقابل شدید ژنوتیپ × محیط، اصلاح گیاهان زراعی برای سازگاری به دامنه‌ی وسیعی از شرایط آب و هوایی، اگرچه غیرممکن نیست، اما بسیار دشوار است (Yan and Kang, 2002). در برنامه‌های به‌نژادی به‌طور معمول، ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان سازگار شناخته می‌شوند که واریانس اثر متقابل آن‌ها با محیط اندک باشد (Eberhart and Russell, 1966). ارزیابی تحمل به خشکی لاین‌های انتخاب شده از توده‌های بومی گلرنگ نشان داد که لاین‌های مورد مطالعه در رژیم‌های مختلف رطوبتی پاسخ متفاوتی داشته به این معنی که بین این یافته‌ها با نتایج این تحقیق تا حدود زیادی مطابقت دارد (Abolhasani and Saeidi, 2006).

شاخص‌های تحمل به خشکی بر اساس عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در دو شرایط تنش خشکی و شرایط نرمال محاسبه و در جدول ۶ بیان شده است. انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس شاخص‌های GMP, Harm و STI انجام می‌گیرد که هم در شرایط تنش و هم نرمال همبستگی معنی‌داری دارند. در این پژوهش ژنوتیپ‌های ۶ و ۸ بر اساس شاخص STI و

شاخه فرعی در بوته، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن دانه در طبق، وزن دانه در بوته، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد بین ژنوتیپ‌های گلرنگ اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد وجود داشت و برای عملکرد بیولوژیک و قطر ساقه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود داشت (جدول ۱). در شرایط تنش برای قطر ساقه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد طبق در بوته، عملکرد دانه در طبق، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های گلرنگ اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد به دست آمد (جدول ۲).

در جدول ۴ و ۵ نتایج آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش و بدون تنش ارائه شده است. در شرایط بدون تنش ژنوتیپ ۶ (Syrian) از نظر صفات عملکرد دانه و وزن هزار دانه بهترین رتبه را به خود اختصاص داد. عملکرد بالای این ژنوتیپ را می‌توان به وجود اندام‌های هوایی بیشتر و وزن دانه بالای دانه مرتبط دانست. ژنوتیپ ۱۳ نیز کمترین میزان عملکرد دانه و وزن هزار دانه را نشان داد (جدول ۴). همچنین در شرایط تنش نیز ژنوتیپ ۶ بیشترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که این نتایج نشان از پایداری عملکرد این ژنوتیپ تحت شرایط تنش می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت هر عاملی مانند آبیاری که فرصت رشد بیشتری در اختیار گیاه قرار دهد، موجب شکل‌گیری مکان‌های بالقوه بیشتری جهت تولید طبق در روی گیاه، از طریق افزایش ارتفاع، انشعابات جانبی دوره رشد خواهد شد و به همین علت در شرایط بدون تنش افزایش اندام‌های هوایی و رشد بیشتر انجام گرفته و لذا ژنوتیپ‌هایی که قطر ساقه بیشتر و تعداد شاخه فرعی بیشتری دارند تعداد طبق بیشتری هم دارند. در حالی که در شرایط تنش ارتباط تعداد طبق در بوته با قطر ساقه بیشتر است، زیرا در شرایط تنش خشکی وجود ساقه‌های محکم که در اثر کم‌آبی ضعیف نشود یکی از اصول تولید و پایداری عملکرد در گلرنگ است (Shirani Rad et al., 2010). سایر محققین نیز با

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه مختلف در شرایط بدون تنش

Table 1. Analysis of variance for studied traits under non-stress conditions

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F.	(Mean Square) میانگین مربعات										
		قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی در بوته No. of branches per plant	تعداد طبق در بوته No. of heads per plant	تعداد دانه در طبق No. of seeds per head	وزن دانه در طبق Seed weight per head	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه -1000 Grain weight	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	5.57**	276.08**	19.41**	24.11**	334.60**	0.77**	19.67**	35377939.49**	120.86**	26.57**	1260469.54**
ژنوتیپ Genotype	14	0.27*	39.16**	1.79**	6.15**	43.98**	0.14**	2.62**	4008571.52*	20.44**	29.98**	361855.72**
خطا Error	28	0.12	7.66	0.61	0.56	7.67	0.04	0.26	1526702.7	2.89	0.77	35611.01
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)		5.57	4.15	14.37	10.14	10.35	23.26	13.18	12.17	9.36	3.05	14.78

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در شرایط تنش کم‌آبی

Table 2. Analysis of variance for studied traits under water deficit stress conditions

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F.	(Mean Square) میانگین مربعات										
		قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی در بوته No. of branches per plant	تعداد طبق در بوته No. of heads per plant	تعداد دانه در طبق No. of seeds per head	وزن دانه دروزن طبق Seed weight per head	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه grain-1000 weight	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	3.69**	349.20**	6.15**	34.99**	382.42**	0.51**	9.6**	15609414.49**	142.16**	13.35**	475624.60**
ژنوتیپ Genotype	14	0.56**	42.90**	0.91**	4.78**	28.95 ns	0.05**	1.16*	1753560.71*	23.04**	30.81**	76055.43**
خطا Error	28	0.13	7.44	0.11	1.20	14.61	0.01	0.42	711887.99	6.40	0.32	16230.71
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)		5.85	4.37	7.49	15.80	17.44	19.32	27.00	10.08	19.04	2.04	14.95

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- نتایج آزمایش تجزیه مرکب برای صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 3. Combined analysis of variance for studied traits in safflower under non-stress and water deficit stress conditions

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات (Mean Square)										
		وزن هزار دانه grain – 1000 weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	تعداد شاخه فرعی در بوته No. of branches per plant	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد طبق در بوته No. of heads per plant	تعداد طبق طبق No. of seeds per head	وزن دانه در طبق Seed weight per head	وزن دانه در بوته Seed weight per plan
محیط (شور و نرمال) Environment (Saline and normal)	1	14.00 ^{ns}	521.76 ^{ns}	71736480 ^{ns}	4064160.25 ^{ns}	24.12 ^{ns}	403.64 ^{ns}	0.05 ^{ns}	5.18 ^{ns}	528.04 ^{ns}	1.28 ^{ns}	47.23 ^{ns}
خطا ۱ Error 1	4	20.02	131.72	25493677	868047.07	12.78	312.60	4.63	29.55	358.02	0.63	14.64
ژنوتیپ Genotype	14	58.36 ^{**}	31.93 [*]	3547137 ^{ns}	338183.94 [*]	1.36 ^{ns}	36.27 ^{ns}	0.35 ^{ns}	6.88 ^{ns}	98.38 ^{ns}	0.11 ^{ns}	2.26 ^{**}
ژنوتیپ × محیط Genotype × Environment	14	2.32 ^{**}	11.55 ^{**}	2214995.2 [*]	99727.21 ^{**}	1.34 ^{**}	45.79 ^{**}	48.00 ^{**}	4.05 ^{**}	33.95 ^{**}	0.08 ^{**}	1.51 ^{**}
خطا ۲ Error 2	51	0.54	4.60	1119295.3	25920.86	0.36	7.50	0.34	0.88	11.14	0.02	0.34
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)		2.61	13.71	11.43	15.12	12.19	4.26	5.71	13.10	13.71	22.35	18.63

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

^{ns}, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مختلف در شرایط بدون تنش با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن

Table 4. Mean comparison of different traits under non-stress conditions by Duncan's multiple range test

نام ژنوتیپ Genotype name	کد Code	قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem diameter (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه فرعی در بوته No. of branches per plant	تعداد طبق در بوته No. of heads per plant	تعداد دانه در طبق No. of seeds per head	وزن دانه در طبق (گرم) Seed weight per head (g)	وزن دانه در بوته (گرم) Seed weight per plant (g)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم/هکتار) Biological (kg/ha) yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه (گرم) -1000 grain weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم/هکتار) Grain yield (kg/ha)
IL-111	G1	6.25 abcd	59.20 ^d	4.73 ^c	5.26 ^f	29.26 ^{bc}	1.02 ^b	4.11 ^{cde}	96.07 ^{bcd}	21.19 ^{ab}	34.96 ^a	1331.60 ^{bcd}
LRV-51-51	G2	6.15 ^{bcd}	70.40 ^a	5.53 ^{bc}	7.13 ^{de}	26.66 ^{bcdef}	0.60 ^d	2.53 ^g	97.29 ^{bcd}	12.95 ^f	27.05 ^{efgh}	1558.20 ^b
S-541	G3	6.00 ^d	64.66 ^{bc}	5.33 ^c	5.46 ^f	28.73 ^{bcd}	0.98 ^{bc}	3.89 ^{cdef}	109.92 ^{ab}	17.42 ^{cde}	31.18 ^b	1370.90 ^{bcd}
Lesaf	G4	6.22 ^{abcd}	62.53 ^{cd}	4.40 ^c	6.86 ^{de}	23.13 ^{efg}	0.68 ^{bcd}	3.17 ^{efg}	84.31 ^{cd}	18.62 ^{bcd}	28.59 ^{cde}	1139.90 ^d
Dincer	G5	6.14 ^{bcd}	63.13 ^{cd}	5.40 ^{bc}	8.80 ^b	27.93 ^{bcde}	0.70 ^{bcd}	3.78 ^{def}	94.34 ^{bcd}	20.06 ^{abc}	28.05 ^{cdefg}	1188.80 ^{cd}
Syrian	G6	6.03 ^d	69.86 ^{ab}	5.73 ^{abc}	7.20 ^{de}	23.86 ^{defg}	0.97 ^{bcd}	4.22 ^{bcd}	101.88 ^{abcd}	20.64 ^{abc}	35.73 ^a	2121.80 ^a
Gila	G7	6.87 ^a	71.00 ^a	5.80 ^{abc}	7.33 ^{cde}	29.40 ^b	1.43 ^a	5.08 ^b	115.36 ^{ab}	22.05 ^a	27.77 ^{defgh}	1307.00 ^{bcd}
Kino-76	G8	6.73 ^{abc}	64.80 ^{bc}	5.93 ^{abc}	8.66 ^{bc}	35.40 ^a	0.91 ^{bcd}	4.76 ^{bc}	125.11 ^a	18.84 ^{abc}	29.43 ^c	1508.60 ^{bc}
Yenice	G9	6.51 ^{abcd}	69.00 ^{ab}	4.93 ^c	6.80 ^{de}	28.60 ^{bcd}	0.76 ^{bcd}	3.50 ^{def}	99.59 ^{bcd}	16.65 ^{de}	26.68 ^{fgh}	1019.00 ^{de}
Zarghan279	G10	6.04 ^{cd}	63.60 ^{cd}	4.53 ^c	7.46 ^{cd}	27.40 ^{bcdef}	0.79 ^{bcd}	4.00 ^{cdef}	99.23 ^{bcd}	19.90 ^{abc}	28.91 ^{cd}	1622.20 ^b
Isfahan local	G11	6.53 ^{abcd}	69.93 ^{ab}	4.73 ^c	7.40 ^{cde}	24.60 ^{bcdefg}	0.64 ^{cd}	3.05 ^{fg}	100.91 ^{bcd}	15.23 ^{ef}	26.15 ^h	1044.40 ^{de}
Hartman	G12	6.32 ^{abcd}	64.73 ^{bc}	5.26 ^c	7.20 ^{de}	22.33 ^{fg}	0.64 ^{cd}	3.51 ^{def}	94.44 ^{bcd}	18.20 ^{bcd}	28.20 ^{cdef}	1067.70 ^{de}
Varamin295	G13	6.74 ^{abc}	69.80 ^{ab}	7.06 ^a	9.13 ^b	24.00 ^{cdefg}	0.65 ^{cd}	3.75 ^{def}	121.09 ^{abc}	15.39 ^{ef}	24.34 ⁱ	777.90 ^e
cyprus	G14	6.75 ^{ab}	66.46 ^{abc}	6.86 ^{ab}	10.73 ^a	29.93 ^b	0.77 ^{bcd}	6.00 ^a	150.99 ^{ab}	19.87 ^{abc}	26.20 ^h	760.30 ^e
CW-74	G15	6.08 ^{bcd}	69.53 ^{ab}	5.66 ^{abc}	6.00 ^{ef}	20.06 ^g	0.61 ^{cd}	2.45 ^g	81.66 ^d	15.26 ^{ef}	26.55 ^{gh}	1335.60 ^{bcd}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

The columns having common letter(s), do not differ significantly at 5% probability level.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین صفات در شرایط تنش با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن

Table 5. Mean comparison of different traits under water deficit stress conditions by Duncan's multiple range test

نام ژنوتیپ Genotype name	کد Code	قطر ساقه (سانتی متر) Stem diameter (cm)	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه فرعی در بوته No. of branches per plant	تعداد طبق در بوته No. of heads per plant	تعداد دانه در طبق No. of seeds per head	وزن دانه در طبق (گرم) Seed weight per head (g)	وزن دانه در بوته (گرم) Seed weight per plant (g)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم/هکتار) Biological (kg/ha) yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه (گرم) -1000 grain weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم/هکتار) Grain yield (kg/ha)
IL-111	G1	5.80 ^{de}	62.60 ^{bcde}	4.47 ^{cde}	5.13 ^e	27.80 ^a	0.92 ^a	3.38 ^{ab}	68.94 ^d	18.64 ^a	34.71 ^a	969.40 ^b
LRV-51-51	G2	6.41 ^{bcd}	65.20 ^{abc}	4.00 ^{ef}	5.80 ^{cde}	26.73 ^{abc}	0.69 ^b	2.13 ^{bcd}	84.66 ^{abcd}	12.50 ^{cde}	24.73 ^g	846.50 ^{bcde}
S-541	G3	6.36 ^{bcde}	58.00 ^{ef}	4.13 ^{def}	6.47 ^{bcde}	19.87 ^{bcd}	0.62 ^{bc}	2.20 ^{bcd}	75.01 ^{cd}	12.91 ^{cde}	29.86 ^b	822.70 ^{bcde}
Lesaf	G4	5.78 ^{de}	68.13 ^a	3.73 ^f	5.13 ^e	20.60 ^{abcd}	0.54 ^{bcd}	2.84 ^{abc}	78.41 ^{cd}	18.03 ^{ab}	28.77 ^c	862.80 ^{bc}
Dincer	G5	6.25 ^{bcde}	61.26 ^{bcde}	4.13 ^{def}	7.73 ^{abc}	19.33 ^{cd}	0.59 ^{bcd}	2.13 ^{bcd}	80.38 ^{bcd}	13.18 ^{cde}	27.51 ^{de}	984.50 ^b
Syrian	G6	7.25 ^a	62.40 ^{bcde}	4.33 ^{cdef}	9.40 ^a	22.33 ^{abcd}	0.53 ^{bcd}	3.71 ^a	97.52 ^a	14.79 ^{abcd}	34.23 ^a	1218.50 ^a
Gila	G7	6.40 ^{bcd}	62.20 ^{bcde}	4.53 ^{cde}	7.07 ^{bcde}	19.47 ^{cd}	0.51 ^{bcd}	2.96 ^{abc}	96.53 ^{ab}	14.41 ^{abcd}	26.60 ^{ef}	937.30 ^{bc}
Kino-76	G8	5.66 ^e	67.80 ^a	5.53 ^a	5.60 ^{de}	22.67 ^{abcd}	0.58 ^{bcd}	2.69 ^{abcd}	83.87 ^{abcd}	15.20 ^{abc}	28.43 ^{cd}	991.20 ^b
Yenice	G9	6.86 ^{ab}	66.00 ^{ab}	5.27 ^{ab}	8.07 ^{ab}	22.93 ^{abcd}	0.57 ^{bcd}	1.54 ^d	89.43 ^{abc}	8.48 ^e	25.76 ^f	870.00 ^{bc}
Zarghan279	G10	6.71 ^{abc}	60.66 ^{cde}	4.33 ^{cdef}	8.40 ^{ab}	17.93 ^d	0.51 ^{bcd}	2.48 ^{abcd}	85.24 ^{abcd}	12.50 ^{cde}	28.77 ^c	852.30 ^{bcd}
Isfahan local	G11	6.40 ^{bcd}	65.33 ^{abc}	4.73 ^{bcd}	7.47 ^{abcd}	27.27 ^{ab}	0.68 ^b	2.57 ^{abcd}	86.42 ^{abc}	14.44 ^{abcd}	26.29 ^f	712.70 ^{cde}
Hartman	G12	6.06 ^{cde}	63.66 ^{abcd}	4.80 ^{bc}	6.87 ^{bcde}	19.27 ^{cd}	0.59 ^{bcd}	2.07 ^{cd}	76.59 ^{cd}	13.47 ^{bcd}	27.81 ^{cd}	771.70 ^{bcde}
Varamin295	G13	6.62 ^{abc}	55.53 ^f	3.73 ^f	8.20 ^{ab}	20.00 ^{bcd}	0.41 ^{cd}	1.97 ^{cd}	88.05 ^{abc}	10.53 ^{cde}	26.76 ^{ef}	721.40 ^{cde}
cyprus	G14	6.08 ^{cde}	57.46 ^{ef}	4.93 ^{bc}	6.67 ^{bcde}	20.60 ^{abcd}	0.48 ^{bcd}	1.76 ^{cd}	79.52 ^{cd}	10.92 ^{cde}	24.08 ^g	605.60 ^e
CW-74	G15	6.05 ^{cde}	58.93 ^{def}	3.73 ^f	6.27 ^{bcde}	21.87 ^{abcd}	0.40 ^d	1.69 ^{cd}	83.78 ^{abcd}	10.10 ^{de}	23.81 ^g	611.90 ^{de}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

The columns having common letter(s), do not differ significantly at 5% probability level.

شاخص GMP بهترین ژنوتیپ‌ها بودند و علاوه بر این که بیشترین تحمل را به تنش رطوبتی داشتند، بیشترین عملکرد دانه را نیز در هر دو رژیم رطوبتی دارا بودند. به طور کلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند، به عنوان بهترین شاخص معرفی می‌گردند. در همین رابطه با توجه به نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌ها (جدول ۷) ملاحظه شد که شاخص‌های میانگین هندسی (GMP)، تحمل به خشکی (STI) و میانگین همساز (Harm) با توجه به همبستگی‌های معنی‌دار و بالایی که با عملکرد در هر دو محیط دارا بودند، شاخص‌های مناسبی برای تخمین پایداری عملکرد محسوب می‌شوند و می‌توانند برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا در هر دو محیط به کار روند. نتایج به دست آمده در رابطه با تعیین مناسب‌ترین شاخص حساسیت به خشکی با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد (Paseban Eslam, 2011; Safavi et al., 2013). همچنین انتخاب دو شاخص STI و GMP به عنوان بهترین شاخص‌ها با نتایج سایر مطالعات مطابقت کامل دارد (Beyyavas et al., 2011).

پس از شناسایی بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی، برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد بالا در هر دو شرایط از نمودار پراکنش سه‌بعدی استفاده گردید (Fernandez, 1992). بر اساس واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی با تنش یا بدون تنش، ژنوتیپ‌ها در چهار گروه دسته‌بندی شدند. در گروه A، ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط از نظر عملکرد برتری نسبی داشته و عملکرد بالایی تولید می‌کنند، قرار گرفتند. گروه B، شامل ژنوتیپ‌هایی بود که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی داشتند. گروه C، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش عملکرد نسبی بالاتری دارند را در برگرفت؛ که این گونه ژنوتیپ‌ها در کل، به

شرایط محیطی مطلوب حساس بوده و به علت ورس، رشد رویشی زیاد یا ابتلا به آفات و بیماری‌ها در شرایط مطلوب، عملکرد کمتری تولید می‌نمایند. در گروه D، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط مطلوب و تنش عملکرد کمی دارند قرار گرفتند. بنابراین بهترین معیار سنجش، شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تفکیک نماید، زیرا پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های مربوط به این گروه بیشتر است (Fernandez, 1992).

در این تحقیق نیز به منظور بررسی روابط بین عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش و شاخص‌های مربوطه از نمودار پراکنش سه‌بعدی استفاده شد. شاخصی که بالاترین همبستگی با عملکرد در هر دو شرایط محیطی را داشته و برای هر ژنوتیپ بلندترین طول خط موازی محور Y را داشته باشد، برترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های مورد نظر است. نمودارهای سه‌بعدی بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) که با عملکرد در هر دو شرایط همبستگی بالایی دارند، تهیه شد. در بررسی نمودار سه‌بعدی Ys، Yp و GMP (شکل ۱) مشاهده می‌شود که ژنوتیپ‌های شماره ۶ و ۸ در ناحیه A قرار گرفته‌اند که دارای بالاترین میزان GMP بودند. این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد مناسبی در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش بودند و به علت بالا بودن مقادیر شاخص GMP، به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناخته می‌شوند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۰ و ۲ که در ناحیه B قرار گرفتند، ژنوتیپ‌هایی بودند که در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی تولید نمودند. در این گروه از ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ شماره ۱۰ دارای عملکرد بالایی در بین ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم تنش بود. با این وجود این ژنوتیپ را می‌توان برای کشت در شرایط بدون تنش استفاده نمود. ژنوتیپ‌هایی (۵، ۱ و ۷) که در گروه C قرار گرفتند.

جدول ۶- شاخص‌های تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌های گلرنگ

Table 6. Drought tolerance indices of safflower genotypes

نام ژنوتیپ Genotype name	کد ژنوتیپ Genotype code	شاخص (Index)									
		Ys	Yp	SI	SSI	STI	TOL	MP	GMP	Harm	DSI
IL-111	G1	969.39	1331.55	0.33	0.82	0.79	362.16	1150.47	1136.13	1121.97	0.27
LRV-51-51	G2	846.50	1558.15	0.28	1.66	0.81	711.65	1202.32	1148.46	1097.02	0.46
S-541	G3	822.73	1370.88	0.28	1.45	0.69	548.16	1096.81	1062.01	1028.32	0.40
Lesaf	G4	862.80	1139.88	0.28	0.88	0.60	277.08	1001.34	991.71	982.17	0.24
Dincer	G5	984.54	1188.82	0.28	0.62	0.72	204.27	1086.68	1081.87	1077.08	0.17
Syrian	G6	1218.50	2121.75	0.28	1.55	1.59	903.25	1670.13	1607.90	1548.00	0.43
Gila	G7	937.34	1307.01	0.28	1.03	0.75	369.67	1122.17	1106.84	1091.73	0.28
Kino-76	G8	991.20	1508.55	0.28	1.25	0.92	517.35	1249.88	1222.82	1196.34	0.34
Yenice	G9	870.02	1018.97	0.28	0.53	0.54	148.95	944.49	941.55	938.62	0.15
Zarghan279	G10	852.29	1622.16	0.28	1.72	0.85	769.87	1237.23	1175.82	1117.47	0.47
Isfahan local	G11	712.70	1044.42	0.28	1.15	0.46	331.72	878.56	862.76	847.25	0.32
Hartman	G12	771.74	1067.75	0.28	1.01	0.51	296.00	919.75	907.76	895.93	0.28
Varamin295	G13	721.36	777.90	0.28	0.26	0.34	56.53	749.63	749.10	748.56	0.07
cyprus	G14	605.63	760.30	0.28	0.74	0.28	154.66	682.96	678.57	674.21	0.20
CW-74	G15	611.88	1335.63	0.28	1.97	0.50	723.75	973.76	904.02	839.27	0.54

Y_s: عملکرد در شرایط تنش؛ Y_p: عملکرد در شرایط بدون تنش؛ SI: شدت تنش؛ SSI: شاخص حساسیت؛ STI: شاخص تحمل به تنش؛ TOL: تحمل؛

MP: شاخص بهره‌وری متوسط؛ GMP: شاخص میانگین هندسی؛ Harm: میانگین همساز و DSI: شاخص پاسخ به خشکی

Y_s: grain yield under drought stress condition; Y_p: grain yield under favorable condition; SI: Stress intensity; SSI: stress susceptibility index; STI: Stress tolerance index; TOL: tolerance; MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; Harm: Harmonic mean and DSI: drought response index

جدول ۷- همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 7. Correlation between different drought tolerance indices

شاخص Index	YS	YP	SSI	TOL	MP	GMP	STI	DSI	HAM
YS	1								
YP	0.718**	1							
SSI	0.060ns	0.720**	1						
TOL	0.350ns	0.903**	0.9331**	1					
MP	0.861**	0.972**	0.547**	0.778**	1				
GMP	0.900**	0.949**	0.480ns	0.723**	0.996**	1			
STI	0.889**	0.939**	0.453ns	0.716**	0.985**	0.988**	1		
DSI	0.060ns	0.720**	0.996**	0.933**	0.547*	0.480ns	0.453ns	1	
HAM	0.934**	0.918**	0.406ns	0.659**	0.984**	0.996**	0.984**	0.406ns	1

ns و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

ns and **: Not significant and significant at 5% probability levels, respectively.

Y_s: عملکرد در شرایط تنش؛ Y_p: عملکرد در شرایط بدون تنش؛ SI: شدت تنش؛ SSI: شاخص حساسیت؛ STI: شاخص تحمل به تنش؛ TOL: تحمل؛

MP: شاخص بهره‌وری متوسط؛ GMP: شاخص میانگین هندسی؛ Harm: میانگین همساز و DSI: شاخص پاسخ به خشکی

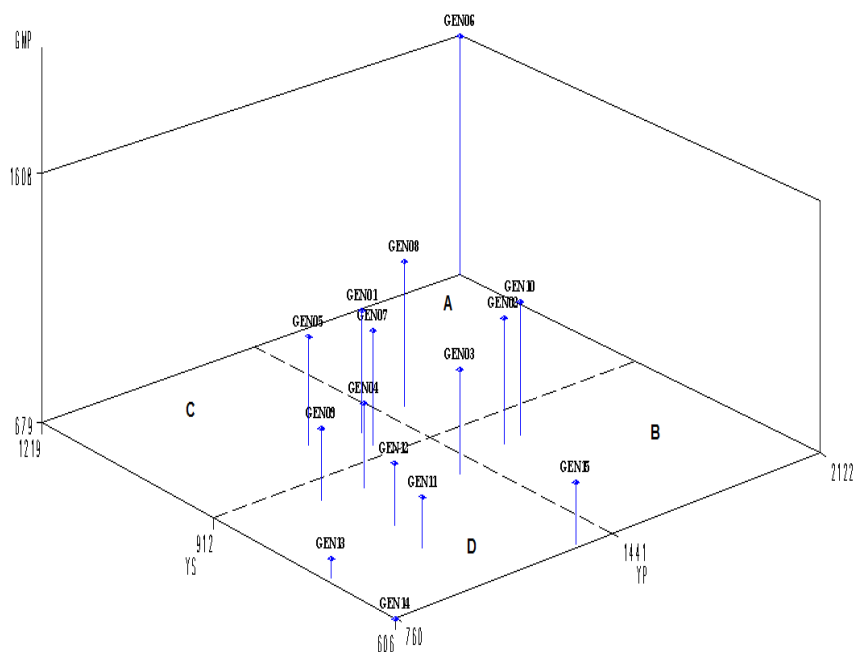
Y_s: grain yield under drought stress condition; Y_p: grain yield under favorable condition; SI: Stress intensity; SSI: stress susceptibility index; STI: Stress tolerance index; TOL: tolerance; MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; Harm: Harmonic mean and DSI: drought response index

ژنوتیپ‌های سازگار با محیط تنش بوده و در این شرایط عملکرد بالاتری نسبت به شرایط بدون تنش تولید کرده‌اند. سایر ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد پایینی در هر دو شرایط آزمایشی بودند. این ژنوتیپ‌ها برای اصلاح در جهت مقاومت به خشکی و تولید عملکرد بالا در شرایط خشکی مناسب نیستند و به دلیل بالا بودن همبستگی‌های میان شاخص‌های STI, Harm و GMP نتایج نمودارهای سه‌بعدی مبتنی بر این شاخص‌ها یکسان بود بنابراین تنها نمودار سه‌بعدی شاخص GMP نشان داده شد.

با توجه به تغییر رتبه ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی اندازه‌گیری شده، استفاده از تجزیه بای‌پلات مبتنی بر اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ صفت ($GGE\ biplot^1$) راه‌حل مناسب و قدرتمندی جهت بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها، شاخص‌ها و ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی به‌شمار می‌آید (Yan and Kang, 2002). بر اساس نتایج این تحقیق تجزیه بای‌پلات بر اساس پنج شاخص تحمل به تنش و عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش انجام شد. مؤلفه اصلی اول، $81/8$ درصد و مؤلفه اصلی دوم $17/7$ درصد از تنوع داده‌های اولیه را توجیه نموده و بدین ترتیب دو مؤلفه اصلی اول مجموعاً $99/5$ درصد از کل تنوع را توجیه نمود. استفاده از این دو مؤلفه و چشم‌پوشی از سایر مؤلفه‌ها تنها موجب از دست رفتن بخش بسیار ناچیزی از تغییرات داده‌ها شد (در حدود $0/5$ درصد از تنوع داده‌های اولیه) و لذا تفسیر نتایج و ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم بسیار مفید بود و توانست ارقام مورد مطالعه را به‌خوبی در فضای دوبعدی گروه‌بندی نماید. باید توجه نمود که مؤلفه‌های اصلی مستقل از هم بوده و هر مؤلفه اصلی بخشی از تغییرات داده‌های اولیه را توصیف می‌کنند که توسط مؤلفه‌های اصلی دیگر توجیه نمی‌شوند. بدین ترتیب، گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و تفسیر نتایج می‌تواند بر اساس هر مؤلفه اصلی و کاملاً مستقل از مؤلفه‌های اصلی

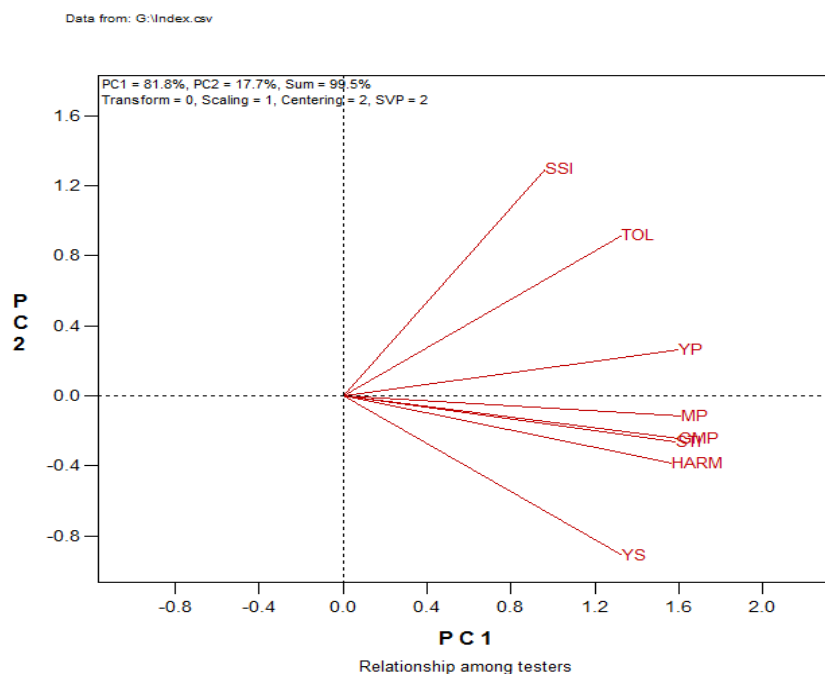
دیگر انجام شود. از این جهت دو مؤلفه را می‌توان به‌صورت دو محور عمود برهم نمایش داد و ژنوتیپ‌ها را بر اساس این دو مؤلفه در سطح نمودار مشخص نمود. مؤلفه اصلی اول همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های MP, GMP, STI, Harm, Ys و Yp داشت. به این ترتیب می‌توان آن را به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی نام‌گذاری کرد. از آنجا که مقادیر بالای این شاخص‌ها مطلوب هستند و با توجه به همبستگی مثبت و بالای مؤلفه اصلی اول با این شاخص‌ها، اگر میزان مؤلفه اصلی اول بالا انتخاب شود، ژنوتیپ‌هایی انتخاب خواهند شد که دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش هستند. همچنین مؤلفه اصلی دوم $17/7$ درصد از تغییرات موجود را به خود اختصاص داد و همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های SSI و TOL داشت و لذا می‌توان آن را به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش نامید و این مؤلفه می‌تواند ژنوتیپ‌های با عملکرد نسبتاً پایین در شرایط تنش را شناسایی کند. از آنجا که مقادیر بالای شاخص‌های STI, GMP, MP و مقادیر پایین SSI و TOL مطلوب می‌باشند، ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در شرایط تنش و مقادیر بالای SSI را در این نمودار می‌توانیم مشخص کنیم. در این نمودار سمت و زاویه بین بردار مربوط به هر متغیر همبستگی بین آن‌ها را بیان نموده و طول خطوط، انحراف معیار هر کدام از متغیرها را نشان می‌دهد (Yan and Kang, 2002). از این‌رو وجود همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار بین GMP, MP و STI کاملاً مشخص است (شکل ۲) و همچنین این شاخص‌ها همبستگی مثبت و بسیار بالایی با عملکرد در شرایط تنش و در شرایط بدون تنش دارند و چنانچه قبلاً گفته شد، شاخصی برای جدا کردن ژنوتیپ‌های متحمل بهتر است که با عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش همبستگی بالایی داشته باشد (Fernandez, 1992).

1. Genotype + Genotype $\times$ Environment interaction



شکل ۱- پراکنش سه‌بعدی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ بر اساس شاخص GMP

Figure 1. Three-dimensional distribution of different safflower genotypes based on GMP index



شکل ۲- نمایش بای‌پلات پنج شاخص تحمل به تنش خشکی برای ژنوتیپ‌های گلرنگ

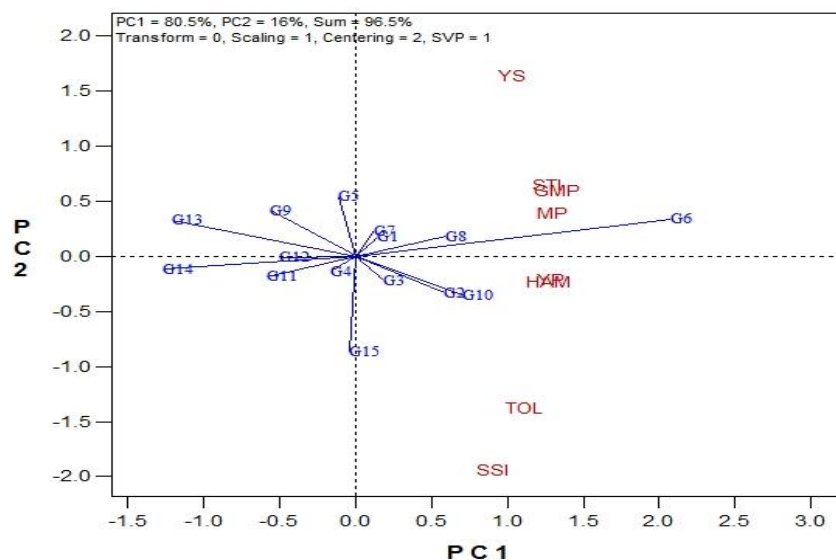
Figure 2. Biplot analysis of safflower genotypes based on five drought stress tolerance index

با توجه به زوایای بین بردارهای شاخص‌ها ملاحظه می‌شود که شاخص TOL و SSI همبستگی پایینی با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی مثبت و بالا با عملکرد در شرایط بدون تنش دارند. به همین ترتیب شاخص‌های GMP، MP و STI با عملکرد در هر دو شرایط آزمایشی (تنش خشکی و بدون تنش) همبستگی مثبت و بالایی دارند و زوایای تند بین این سه شاخص نسبت به هم نشان از همبستگی مثبت و بسیار بالای آن‌ها با هم دارد (شکل ۲) و این مطالب می‌تواند با توجه به جدول ضرایب همبستگی تأیید شود (جدول ۷). نمودار بای‌پلات (شکل ۳) همبستگی بین ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد، همچنین با توجه به بردارهای ژنوتیپی می‌توان اظهار نمود که ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۸، ۷ و ۱ در ناحیه‌ای با پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی قرار دارند و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به تنش GMP، MP، Harm و STI قرار گرفته‌اند و ژنوتیپ ۱۵ در ناحیه‌ای با عملکرد پایین در شرایط تنش و حساسیت بالا به خشکی و در مجاورت شاخص مهم حساسیت به تنش TOL و SSI قرار گرفته است.

یکی دیگر از کاربردهای این نوع بای‌پلات تشخیص ژنوتیپ‌هایی است که بالاترین مقادیر را در شاخص‌های متفاوت دارند (شکل ۴). بدین منظور ژنوتیپ‌هایی که دورترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند توسط خطوط راست به هم متصل و یک تحذب (چندضلعی) که سایر ژنوتیپ‌ها در درون آن قرار می‌گیرند را به وجود می‌آورند. ژنوتیپ‌های رئوس چندضلعی در این آزمایش ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳ و ۵ بودند. این ژنوتیپ‌ها بالاترین پاسخ را به شاخص‌ها نشان دادند. بدین معنی که بهترین یا بدترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ مقدار در تعدادی یا همه شاخص‌ها بودند. خطوط عمودی در اطراف چندضلعی ترسیم شده‌اند که از مبدأ بای‌پلات شروع شده و بای‌پلات

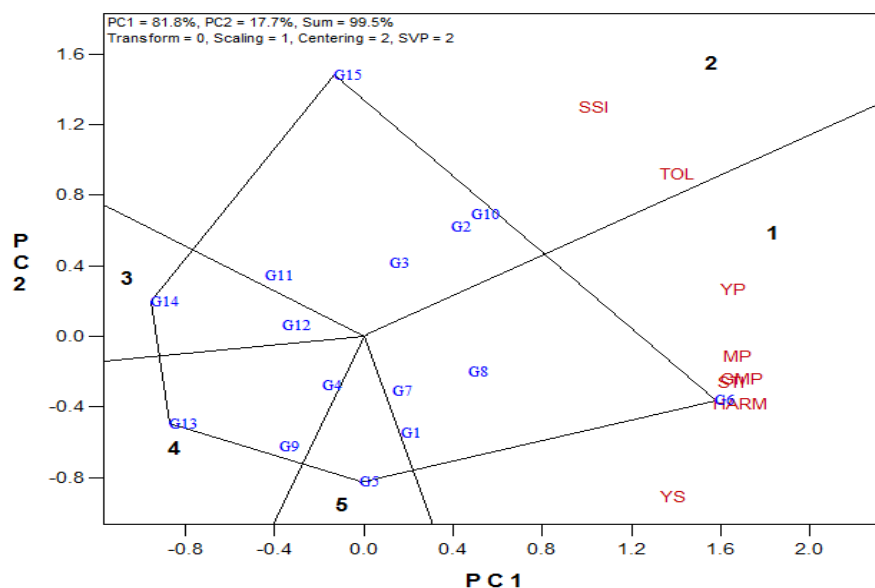
را به ۵ ناحیه تقسیم کرده‌اند (Yan and Kang, 2002). ژنوتیپ برتر برای ۵ ناحیه، ژنوتیپی است که بیشترین مقادیر شاخص‌های که در آن ناحیه قرار گرفته‌اند را داراست. ژنوتیپ شماره ۶، ۱، ۷ و ۸ (ناحیه ۱) بیشترین مقادیر را برای شاخص‌های GMP، MP، Harm و STI دارند و مقادیر متوسط برای Ys و Yp را دارا می‌باشند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵، ۳، ۲ و ۱۱ (ناحیه ۲) بیشترین مقادیر را برای شاخص TOL و SSI دارا می‌باشند و حساس به خشکی می‌باشند. سایر ژنوتیپ‌ها به دلیل این که در نواحی (۳، ۴ و ۵) قرار گرفته‌اند که هیچ شاخصی در آنجا وجود ندارد، بنابراین دارای کم‌ترین مقادیر برای یک یا چند شاخص هستند. نتایج بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی با نتایج برخی گزارش‌های منتشر شده مطابقت نسبی بالایی دارد (Abolhasani and Saeidi, 2006; Sharifi Moghadas, 2009; Paseban Eslam, 2011; Golkar et al., 2012) و یکی از دلایل تفاوت بین نتایج این تحقیق با سایر مطالعات می‌تواند ناشی از اختلاف در ارقام مورد استفاده در مطالعات می‌باشد.

به‌طور کلی و با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان گفت که تنش خشکی با تأثیر بر صفات دخیل در عملکرد دانه گلرنگ باعث کاهش عملکرد نسبت به شرایط بدون تنش خشکی می‌شود و لذا دستیابی به ارقام متحمل به تنش خشکی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا دستیابی به روشی مناسب برای ارزیابی ارقام نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی و به‌کارگیری روش‌های گرافیکی از جمله GGE biplot که اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ صفت را در ارزیابی لحاظ می‌کند می‌توان ژنوتیپ‌های ۶ و ۸ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی توصیه نمود.



شکل ۳- بای پلات ژنوتیپ‌های گلرنگ بر اساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم

Figure 3. Biplot analysis of safflower genotypes based on the first and the second components obtained from principal component analysis



شکل ۴- نمایش چندضلعی ژنوتیپ‌های گلرنگ بر اساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در شرایط تنش و بدون تنش خشکی

Figure 4. Polygon view of safflower genotypes based on the first and the second components under non-stress and water deficit stress conditions

References

- Abolhasani, K.h. and Saeidi, G.** (2006). Evaluation of drought tolerance of safflower lines based on tolerance and sensitivity indices to water stress. *Journal of Water and Soil Science - Isfahan University of Technology*, **10**: 407-419 (In Persian).
- Ahmad, P., Jamsheed, S., Hameed, H., Rasool, S., Sharma, I., Azooz, M.M. and Hasanuzzaman, M.** (2014). Drought stress induced oxidative damage and antioxidants in plants, In: *Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling*. Ed. Ahmad, P., pp. 345-367. Academic Press, New York, USA.
- Askar, M., Yazdanseps, A. and Amini, A.** (2010). Evaluation of winter and facultative bread wheat genotypes under irrigated and post-anthesis drought stress conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*, **26**: 313-329 (In Persian).
- Beyyavas, V., Haliloglu, H., Copur, O. and Yilmaz, A.** (2011). Determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars, Lines and Populations under the Semi-Arid Conditions. *African Journal of Biotechnology*, **10**: 527-553.
- Bidinger, F., Mahalakshmi, V., Talukdar, B. and Alagarswamy, G.** (1982). Improvement of drought resistance in pearl millet, In: *Drought resistance in crops with emphasis on rice*. Ed. Banos, L., pp. 357-375. International Rice Research Institute, Metro Manila, PH.
- Dordas, C.A. and Sioulas, C.** (2008). Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Industrial Crops and Products*, **27**: 75-85.
- Eberhart, S.t. and Russell, W.** (1996). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, **6**: 36-40.
- Fernandez, G.C.J.** (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*: Shanhaue, Taiwan, pp. 257-270.
- Fischer, R. and Maurer, R.** (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop and Pasture Science*, **29**: 897-912.
- Golkar, P., Mphammadi nejad, G. and Lotfi, P.** (2012). Evaluation of drought tolerance in different genotypes of the safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agronomy Science*, **3**: 1-14 (In Persian).
- Jamshidi Moghadam, M. and Pourdad, S.S.** (2006). Evaluation of Safflower Genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) under Moisture Stress in Controlled and Field Conditions. *Journal of Water and Soil Science - Isfahan University of Technology*, **10**: 155-168 (In Persian).
- Kar, G., Kumar, A. and Martha, M.** (2007). Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agricultural Water Management*, **87**: 73-82.
- Larcher, W.** (2003). *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and stress Physiology of Functional Groups*, Springer, New York, USA.
- Paseban Eslam, B.** (2011). The effect of drought stress on seed yield and oil yield of safflower genotypes. *Iranian Journal of Field Crop Scienc*, **42**: 275-283 (In Persian).
- Rosielle, A. and Hamblin, J.** (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, **21**: 943-946.
- Safavi, M., Pourdad, S. and Safavi, A.** (2013). Evaluation of drought tolerance in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under NonStress and Drought Stress Conditions. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, **9**: 943-946.
- Shabani, A., Zebarjadi, A.R., Mostafaei, A., Saeidi, M. and Poordad, S.S.** (2016). Identification of drought stress responsive proteins in susceptible genotype of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Genetic Researches*, **3(1)**: 1-12 (In Persian).
- Sharifi Moghadas, M.** (2009). Comparison of winter rapeseed cultivars for determination of suitable variety for Saveh region. *Quarterly of Dynamic Agricultural*, **6**: 75-80 (In Persian).

- Shirani Rad, A.H., Naeemi, M. and Nasr Esfahani, S.H.** (2010). Evaluation of terminal drought stress tolerance in spring and winter rapeseed genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, **12**: 112-126 (In Persian).
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V.** (2006). Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, **98**: 222-229.
- Yan, W. and Kang, M.S.** (2002). *GGE Biplot Analysis: A graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists*, CRC press, Florida, USA.
- Yau, S., Ortiz-Ferrara, G. and Srivastava, J.** (1991). Classification of diverse bread wheat-growing environments based on differential yield responses. *Crop Science*, **31**: 571-576.

Evaluation of Drought Tolerance in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Under Water Deficit Stress Conditions

Seyedeh Zahra Hosseini¹, Ahmad Ismaili^{2,*} and Seyed Sajad Sohrabi¹

- 1- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
- 2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

(Received: April 12, 2016 – Accepted: March 6, 2017)

Abstract

Drought is a threaded factor in the world production and application of breeding methods could improve the tolerant and adapted cultivators under drought stress condition. In order to evaluate and determine the stress tolerance indices and identification of tolerant genotypes to drought stress, 15 safflower genotypes were evaluated in a randomized complete block design with three replications in two conditions (stress and non-stress). Analysis of variance showed significant differences among genotypes for all traits, stress tolerance indices and yield in both conditions. Significant positive correlation was found between grain yield in the stress condition with indicators stress tolerance index, harmonic mean and geometric mean productivity indicating that these indices are suitable criteria for screening drought tolerant genotypes. No significant correlation was observed between Ys with tolerance index and mean productivity, hence they can be discarded as the desirable markers for identifying drought tolerant genotypes. In conclusion, using a graphical approach of three dimensional scatter plots, Principal component analysis and biplot analysis, two tolerant genotype (*Syrian* and *Kino-76*) were selected for future programs in stress and non-stress condition.

Keywords: Biplot analysis, Principal component analysis, Stress tolerance index, Safflower

* Corresponding Author, E-mail: ismaili.a@lu.ac.ir