

## ارزیابی ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) پائیزه برای تحمل به خشکی

### Evaluation of Autumn Sown Genotypes of Safflower (*Carthamus tinctorius*) for Tolerance to Drought Stress

رضا ضرغامی<sup>۱</sup>، مهدی زهراوی<sup>۲</sup>، علی اصلانزاده<sup>۳</sup> و محمد عباسعلی<sup>۴</sup>

۱- استادیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج

۲ و ۴- به ترتیب استادیار و مربی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج

۳- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱/۲۵

#### چکیده

ضرغامی، ر.، زهراوی، م.، اصلانزاده، ع.، و عباسعلی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) پائیزه برای تحمل به خشکی. مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۷: ۳۵۵-۳۳۹.

پانزده ژنوتیپ انتخابی از کلکسیون گلرنگ بانک ژن گیاهی ملی ایران در قالب دو آزمایش جداگانه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط آبیاری متداول و تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفتند. هر دو آزمایش تا مرحله ۵۰٪ غوزه‌دهی براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A آبیاری شدند. از این زمان به بعد در آزمایش تنش، آبیاری بر اساس ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک انجام شد. ژنوتیپ‌های 532 (از اسپانیا)، IL111، 633.1 و 642.2 (از ایران) و 772.1 (از ایالات متحده آمریکا) بالاترین و ژنوتیپ‌های 581 و 753.2 پائین‌ترین عملکرد دانه را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس شاخص‌های مقاومت به خشکی، دو مؤلفه اصلی اول ۹۶/۹ درصد از کل تنوع موجود در داده‌ها را در برداشتند. بر اساس ضرایب شاخص‌ها، مؤلفه اصلی اول بیانگر تحمل تنش و مؤلفه اصلی دوم نشان‌دهنده پتانسیل عملکرد بالا در شرایط مطلوب بود. به منظور تمایز تغییرات عملکرد در شرایط تنش خشکی از تغییرات عملکرد بالقوه و زمان رسیدن از شاخص DRI استفاده شد. ضریب تبیین رگرسیون عملکرد در شرایط تنش بر عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و تعداد روز تا گلدهی (۰/۶۱) نشان داد که فقط بخشی از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش متأثر از عملکرد بالقوه و زمان رسیدن بود. در تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در سه گروه متحمل، حد واسط و حساس قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: خشکی، تحمل، گلرنگ، ژنوتیپ.

## مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان روغنی است. مرکز تنوع گلرنگ خاور میانه بوده و این گیاه به طور گسترده‌ای در شرایط آب و هوای گرم و خشک این منطقه کشت می‌شود (Knowles and Ashri, 1995). از مدت‌ها قبل این گیاه به خاطر استفاده از گل‌هایش به عنوان ماده رنگی، به کار می‌رفته است. امروزه از گلرنگ بیشتر به عنوان یک گیاه روغنی استفاده می‌شود (Yazdi-Samadi and Abd-Mishani, 1994). گلرنگ به خاطر داشتن برخی خصوصیات مطلوب زراعی از قبیل مقاومت نسبت به خشکی و سازگاری با آب‌های خشک و نیمه خشک مورد توجه قرار گرفته است (Weiss, 2000). خشکی یکی از عوامل مهم محدود کننده رشد گیاهان است. با توجه به متوسط ۲۴۰ میلی‌متر نزولات آسمانی، ایران جزو مناطق خشک محسوب می‌شود لذا شناسایی و اصلاح ژنوتیپ‌ها و ارقام متحمل به خشکی گلرنگ از اهمیت زیادی برخوردار است. چاوان (Chavan, 1961) گزارش کرد که بین عملکرد گلرنگ و تعداد شاخه‌های جانبی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. ژنگ و همکاران (Zheng *et al.*, 1993) ارتفاع شاخه‌دهی را مؤثرترین عامل در عملکرد گلرنگ دانسته‌اند. در مطالعه سینگ و سینگ (Singh and Singh, 1989) تنش خشکی باعث کاهش وزن دانه و درصد دانه‌ها شد.

لئونارد و فرنچ (Leonard and French, 1969) با آبیاری گلرنگ در تیمارهای مختلف مشاهده کردند درصد روغن در تیمار آبیاری تا زمان برداشت با تیمار قطع آبیاری دو هفته قبل از گلدهی تفاوت معنی‌داری نداشت. در آزمایش‌هایی و همکاران (Haby *et al.*, 1982) حداکثر عملکرد هنگامی به دست آمد که آبیاری در ابتدای تشکیل جوانه گل انجام شد. اکمل و همکاران (Akmal *et al.*, 1999) در مطالعه ارقام مختلف گلرنگ در شرایط دیم، تفاوت معنی‌داری را بین آن‌ها از نظر عملکرد دانه، محتوای روغن، تعداد کپسول در گیاه، وزن صد دانه و ارتفاع گیاه مشاهده کردند. در تحقیق لاولی و همکاران (Lovelli *et al.*, 2007) تغییر معنی‌داری در شاخص برداشت در شرایط پنج رژیم آبیاری متفاوت مشاهده نشد، اما عملکرد دانه در تنش خشکی شدید، کاهش زیادی نشان داد. دورداس و سیولاس (Dordas and Sioulas, 2008) همبستگی مثبت معنی‌داری را بین هدایت روزنه‌ای، نرخ آسیمیلایون، عملکرد دانه و عملکرد روغن در ژنوتیپ‌های گلرنگ که در شرایط دیم در یونان کشت شده بودند، گزارش کردند. هامدان و همکاران (Hamdan *et al.*, 2009) ژرم‌پلاسم گلرنگ را برای محتوای اسید چرب اشباع ارزیابی و لاین CR-50 را با محتوای بالای اسید پالمیتیک و لاین CR-13 را با محتوای بالای اسید استئاریک گزینش کردند. بیواوس و همکاران (Beyyavas *et al.*, 2011)

KH و کمترین مقدار عملکرد دانه و روغن مربوط به رقم اصفهان بود. بر اساس نتایج این آزمایش، رقم اراک در شرایط بدون تنش نسبت به دو رقم دیگر برتری داشت در حالی که رقم KH برای کاشت در شرایط تنش خشکی گزینه بهتری بود. سیروس مهر و همکاران (Sirousmehr *et al.*, 2008) اثر تنش کمبود آب در سه سطح قطع آبیاری و تراکم بوته را بر عملکرد دانه و برخی صفات سه رقم گلرنگ بررسی کردند. نتایج نشان داد که برخی صفات از جمله تعداد شاخه گروه ۲، ارتفاع بوته و قطر ساقه از تیمارهای آزمایش متاثر نشده و سایر صفات اندازه‌گیری شده برای بعضی اثرهای اصلی یا متقابل تیمارها معنی‌دار بودند. امید (Omidi, 2009) با ارزیابی سه رقم گلرنگ بهاره تحت تاثیر تنش خشکی ایجاد شده در اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشدی، مشاهده کرد که تنش خشکی در مرحله غنچه‌دهی و گل‌دهی بیشترین تاثیر را در عملکرد دانه نسبت به مرحله پر شدن دانه داشت. وی نتیجه گرفت با قطع آبیاری پس از پایان مرحله گل‌دهی یا شروع پر شدن دانه ضمن این که عملکرد دانه دچار افت چندانی نمی‌شود، در مصرف آب نیز صرفه‌جویی خواهد شد. پاسبان اسلام (Pasban Eslam, 2010) پنج ژنوتیپ بهاره گلرنگ سازگار با شرایط کمبود آب اواخر فصل شامل محلی Arak 2811، محلی اصفهان، PI، 57-23KH و IL111 را در شرایط بدون تنش و تنش کمبود آب مورد بررسی قرار داد.

با بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد ۲۶ رقم، لاین و جمعیت گلرنگ در دو سال در شرایط نیمه خشک مشاهده کردند ارقام Syria Hama و Hartinan و لاین S-541-2 دارای بیشترین عملکرد دانه و لاین‌های 250540 و S-541-2 دارای بیشترین محتوای روغن بودند. جمشیدی مقدم و پورداد (Jamshidi-Moghaddam and Pourdada, 2006) جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های پانزده ژنوتیپ گلرنگ را در تنش رطوبتی حاصل از چهار سطح پتانسیل آب ناشی از پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ بررسی کردند. کمترین پتانسیل آب جهت جوانه زنی، در دامنه ۱/۱۸- مگا پاسکال در ژنوتیپ گوشتخانی تا ۱/۵۹- مگا پاسکال در ژنوتیپ LRV-51-51 برآورد شد. ابوالحسینی و سعیدی (Abolhasani and Saeidi, 2006) دوازده لاین اصلاحی انتخاب شده از توده‌های بومی گلرنگ همراه با دو رقم خارجی و یک توده بومی را در دو رژیم رطوبتی مورد ارزیابی قرار دادند. رقم مورد کشت در اصفهان (توده کوسه) بیشترین واکنش حساسیت به خشکی را نشان داد. لاین 2428E به عنوان متحمل‌ترین و رقم خارجی Ac-Sunset (از کشور کانادا) به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ معرفی شدند. کافی و رستمی (Kafi and Rostami, 2007) اثر تنش خشکی انتهای فصل رشد را بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و روغن سه رقم گلرنگ زراعی ارزیابی کردند. نتایج حاصل نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و روغن مربوط به رقم

مقادیر کوچک‌تر SSI نشان‌دهنده مقاومت بیشتر به خشکی است. اما این شاخص قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از گروه C نیست. رزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) شاخص تحمل (TOL) را معرفی کردند. این شاخص به صورت اختلاف عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش تعریف می‌شود. از این رو مقادیر کوچک‌تر TOL مطلوب است. این شاخص نیز نمی‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A را از گروه C متمایز کند. آن‌ها همچنین شاخص متوسط بهره‌وری (MP) را به صورت میانگین عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش پیشنهاد کردند. اما انتخاب براساس این شاخص منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و تحمل تنش پائین می‌شود. کریستین و همکاران (Kristin et al., 1997) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پیشنهاد کردند. فرناندز (Fernandez, 1992) مناسب‌ترین شاخص مقاومت به خشکی را معیاری می‌داند که قادر به تمایز ارقام گروه A از سایر گروه‌ها باشد. بر این اساس، فرناندز شاخص تحمل تنش (STI) را پیشنهاد کرد.

این تحقیق با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های گل‌رنگ متحمل به خشکی و همچنین شناسایی شاخص‌های مقاومت به تنش که قادر به تمایز ژنوتیپ‌های برتر باشند، انجام شد.

از بین اجزای عملکرد، تعداد دانه در غوزه و وزن هزار دانه کاهش بیشتری در برابر تنش نشان دادند. از بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، محلی اصفهان و محلی Arak 2811 بالاترین عملکرد دانه و روغن را داشتند و کمترین درصد‌های افت عملکرد دانه در اثر تنش خشکی نیز مربوط به آن‌ها بود.

شناسایی شاخصی برای مقاومت به خشکی همواره مورد توجه محققین بوده است (Karamanos and Papatheohari, 1999). به عقیده آرنون (Arnon, 1972) مقاومت به خشکی عبارت از توانایی گیاه در جذب رطوبت محدود خاک است. بلام (Blum, 1988) معتقد است انتخاب برای مقاومت به خشکی باید مبتنی بر پتانسیل عملکرد بالا بوده و اختلاف عملکرد انتخابی بایستی در شرایط رطوبتی مناسب و تنش خشکی پائین باشد. فرناندز (Fernandez, 1992) بر اساس عملکرد در دو شرایط رطوبتی مناسب و تنش خشکی، ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه تقسیم کرد. گروه A: ژنوتیپ‌های واجد عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش، گروه B: ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در محیط بدون تنش، گروه C: ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در محیط تنش و گروه D: ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پائین در هر دو محیط تنش و بدون تنش. فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را پیشنهاد کردند.

## مواد و روش‌ها

پانزده ژنوتیپ گلرنگ از بین یکصد نمونه ژنتیکی اولیه از کلکسیون گلرنگ بانک ژن گیاهی ملی ایران که بر اساس ارزیابی‌های مقدماتی برای مقاومت به خشکی گزینش شده بودند، با هدف بررسی دقیق‌تر در نظر گرفته شدند. ژنوتیپ‌ها در دو آزمایش جداگانه در آبیاری متداول و آبیاری محدود در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقه شمال و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۲۵۰ متر از سطح دریا مورد بررسی قرار گرفتند. زمین مورد آزمایش در سال قبل به صورت آیش بود و قبل از کاشت با گاوآهن برگرداندار شخم و با دو دیسک عمود بر هم کلوخه‌ها خرد و سپس به وسیله لولر، تسطیح و با فاروئر جوی و پشته‌ها ایجاد شد. خاک محل آزمایش دارای بافت شنی-رسی-لومی با  $pH=7/9$  و هدایت الکتریکی  $0/43$  میلی‌موس بر سانتی‌متر بود. هر دو آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در بین دو قطعه آزمایش ۱۰ متر فاصله منظور شد و از طرفین یک متر فاصله به صورت نکاشت باقی گذاشته شد. هر کرت متشکل از سه ردیف با فاصله  $62/5$  سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله ۱۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها در پائیز کشت شد. کشت به صورت خشک کاری بود و بلافاصله پس از کشت آبیاری انجام شد. هر دو آزمایش تا

مرحله ۵۰٪ غوزه‌دهی براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A آبیاری شدند. از این زمان به بعد در آزمایش تنش، آبیاری بر اساس ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک انجام شد. علف‌های هرز با وجین دستی حذف شدند. در هنگام نمونه‌برداری ۳۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف شد و نمونه‌برداری از خط وسط انجام شد. پس از رسیدن گیاهان، عملکرد دانه در کرت اندازه‌گیری شد. با در نظر گرفتن میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش به صورت  $\bar{Y}_s$  و در شرایط بدون تنش به صورت  $\bar{Y}_p$ ، شدت تنش از رابطه  $D = 1 - \bar{Y}_s / \bar{Y}_p$  محاسبه شد. شاخص حساسیت به تنش خشکی (Fischer and Maurer, 1978) با استفاده از رابطه  $SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)}{D}$  به دست آمد که در آن  $Y_s$ ، عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و  $Y_p$ ، عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (عملکرد بالقوه) است. شاخص تحمل به خشکی (Fernandez, 1992) از رابطه  $STI = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2}$  محاسبه شد. شاخص تحمل به صورت  $TOL = Y_p - Y_s$  (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص بهره‌وری متوسط به صورت  $MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$  (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری به صورت  $GMP = \sqrt{(Y_s)(Y_p)}$  (Fernandez, 1992) و شاخص میانگین هارمونیک به صورت  $HM = \frac{2(Y_p \cdot Y_s)}{Y_p + Y_s}$  محاسبه شد. برای تمایز تغییرات عملکرد در شرایط تنش خشکی از تغییرات

به روش WARD و بر اساس فواصل اقلیدسی استفاده شد. محاسبه شاخص‌ها با استفاده از نرم افزار Excel، رسم نمودار تری‌پلات و دندروگرام تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS و تجزیه رگرسیون، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

### نتایج و بحث

نام و منشأ ژنوتیپ‌های گلرنگ مورد استفاده در این بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تفاوت بین ارقام در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بود. شدت تنش بر اساس رابطه فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) به میزان ۰/۳۳ برآورد شد. میانگین عملکرد ارقام در شرایط تنش و بدون تنش و مقادیر عددی شاخص‌های مقاومت به تنش در جدول ۲ ارائه شده است. ژنوتیپ‌های 772.1 و 642.2 به ترتیب دارای بیشترین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش بودند. ژنوتیپ 581 واجد کمترین عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و کمترین مقدار برای شاخص‌های STI، GMP، MP و HM بود. ژنوتیپ IL111 واجد بیشترین مقدار عددی از نظر شاخص‌های STI، GMP، MP و HM بود. ژنوتیپ 642.2 دارای کمترین مقدار از نظر شاخص‌های TOL و SSI (مطلوب) و بیشترین مقدار شاخص DRI و ژنوتیپ 753.2

عملکرد بالقوه و زمان گلدهی (فرار از خشکی) از شاخص DRI استفاده شد (Bidinger *et al.*, 1987). بدین منظور ابتدا رابطه رگرسیونی بین عملکرد در شرایط تنش خشکی (به عنوان متغیر تابع) با عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و تعداد روز تا گلدهی (به عنوان متغیرهای مستقل) برقرار شد (رگرسیون اول). با استفاده از رابطه رگرسیونی مذکور عملکرد در شرایط تنش برای هر ژنوتیپ برآورد شد (عملکرد پیش‌بینی شده). در مرحله بعد رابطه رگرسیونی عملکرد واقعی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش بر روی عملکرد پیش‌بینی شده آن‌ها برآورد شد (رگرسیون دوم). شاخص DRI با استفاده از رابطه  $DRI = \frac{Y_s - Y_{es}}{Stde(Y_{es})}$  برای هر ژنوتیپ محاسبه شد که در آن  $Y_s$  عملکرد واقعی در شرایط تنش خشکی،  $Y_{es}$  عملکرد پیش‌بینی شده در شرایط تنش خشکی و  $Stde(Y_{es})$  اشتباه استاندارد عملکرد پیش‌بینی شده در شرایط تنش خشکی است. برای تعیین تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها از تجزیه واریانس استفاده شد. روابط شاخص‌ها و عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش با استفاده از تجزیه همبستگی مورد مطالعه قرار گرفت. روابط ژنوتیپ‌ها بر اساس تمام شاخص‌ها و عملکرد در دو شرایط تنش و بدون تنش با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات و تری‌پلات تبیین شد. برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از تجزیه خوشه‌ای مبتنی بر عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های مقاومت به خشکی

جدول ۱- نام و منشأ ژنوتیپ‌های گلرنگ پائیزه در ارزیابی برای تحمل به خشکی

Table 1. Names and origins of autumn sown genotypes of safflower for evaluation of drought tolerance

ژنوتیپ	منشاء
Genotype	Origin
678	USA
753.2	USA
Arak 2811	Iran
562	Afghanistan
532	Spain
582.1	Kazakhstan
IL111	Iran
622.2	Turkey
633.2	Iran
634.2	Syria
581	Kazakhstan
572.9	Unknown
633.1	Iran
642.2	Iran
772.1	USA

جدول ۲- عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ پائیزه

Table 2. Seed yield and drought tolerance indices for autumn sown genotypes of safflower

Genotype	Yp (g/plot)	Ys (g/plot)	STI	MP	GMP	HM	TOL	SSI	DRI
678	624.14	383.86	0.574	504.00	489.47	475.36	240.28	1.18	-0.42
753.2	598.73	244.92	0.351	421.83	382.94	347.63	353.82	1.82	-1.27
Arak 2811	567.66	433.20	0.589	500.43	495.89	491.40	134.46	0.73	0.64
562	665.37	383.04	0.610	524.20	504.84	486.19	282.33	1.30	0.25
532	767.97	455.01	0.837	611.49	591.13	571.45	312.96	1.25	-0.63
582.1	636.00	445.46	0.679	540.73	532.27	523.94	190.54	0.92	0.09
IL111	804.05	620.78	1.196	712.42	706.50	700.63	183.27	0.70	0.20
622.2	639.40	340.98	0.522	490.19	466.93	444.77	298.43	1.43	0.07
633.2	548.49	450.22	0.591	499.36	496.93	494.52	98.27	0.55	0.49
634.2	598.37	467.00	0.669	532.68	528.62	524.58	131.37	0.67	-0.08
581	444.21	244.65	0.260	344.43	329.66	315.52	199.56	1.38	-0.07
572.9	556.33	356.05	0.474	456.19	445.06	434.21	200.28	1.11	-0.48
633.1	653.61	534.13	0.836	593.87	590.86	587.86	119.48	0.56	0.56
642.2	721.61	635.97	1.099	678.79	677.44	676.09	85.64	0.36	0.96
772.1	866.28	542.83	1.126	704.55	685.74	667.43	323.45	1.15	-0.31

Yp: Yield in non-stress condition; Ys: Yield in stress condition; STI: Stress Tolerance Index; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HM: Harmonic Mean; TOL: Tolerance; SSI: Stress Susceptibility Index; DRI: Drought Response Index.

مقاومت به تنش در جدول ۳ ارائه شده است.  
شاخص TOL فاقد همبستگی معنی‌دار با  
عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش و

دارای بیشترین مقدار شاخص‌های TOL و SSI  
(نامطلوب) بودند.  
نتایج تجزیه همبستگی بین شاخص‌های

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ پائیزه  
Table 3. Correlation coefficients between drought tolerance indices for autumn sown genotypes of safflower

	Ys	STI	MP	GMP	HM	TOL	SSI	DRI
Yp	0.699**	0.880**	0.915**	0.877**	0.838**	0.304	-0.130	0.000
Ys		0.946**	0.928**	0.956**	0.974**	-0.469	-0.794**	0.581*
STI			0.992**	0.993**	0.989**	-0.173	-0.559*	0.372
MP				0.996**	0.986**	-0.105	-0.515*	0.327
GMP					0.997**	-0.190	-0.578*	0.392
HM						-0.263	-0.646**	0.445
TOL							0.897**	-0.774**
SSI								-0.802**

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

\* and \*\*: Significant at probability levels of 5% and 1%, respectively.  
For abbreviations see Table 2.

برای اختصارات به جدول ۲ مراجعه شود.

محاسبات است. عدم وجود همبستگی معنی‌دار بین شاخص DRI با شاخص‌های STI، GMP، MP، HM و همبستگی معنی‌دار قوی بین DRI با شاخص‌های SSI و TOL نشان‌دهنده این است که شاخص DRI از نظر ماهیت متفاوت از شاخص‌های STI، GMP، MP و HM بوده و بیشتر ماهیتی مشابه با شاخص‌های SSI و TOL دارد و ژنوتیپ‌هایی را که حساسیت کمتری (یا تحمل بیشتری) نسبت به تنش خشکی دارند را متمایز می‌کند، هرچند که این ژنوتیپ‌ها ممکن است در شرایط بدون تنش خشکی الزاماً دارای عملکرد بالایی نباشند. تجزیه و تحلیل مربوط به تفکیک ژنوتیپ‌ها مبتنی بر شاخص DRI به طور متمایز از شاخص‌های STI، GMP، MP و HM انجام گرفته و نتایج آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های STI، GMP، MP و HM بود. از

سایر شاخص‌ها بود، بنابراین لذا به نظر می‌رسد این شاخص برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی گلرنگ پائیزه مناسب نبود. شاخص SSI با عملکرد دانه در شرایط تنش همبستگی منفی معنی‌دار داشت اما فاقد همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش بود، بنابراین این شاخص نیز برای گزینش ارقام با عملکرد بالا برای گلرنگ مناسب نبود. شاخص DRI دارای همبستگی مثبت معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش و همبستگی منفی معنی‌دار با شاخص‌های TOL و SSI و فاقد همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و شاخص‌های STI، GMP، MP و HM بود. همبستگی صفر بین شاخص DRI با عملکرد دانه در شرایط تنش با توجه به طریقه محاسبه این شاخص که آنرا مستقل از عملکرد در شرایط بدون تنش می‌سازد، مورد انتظار و نشان‌دهنده صحت انجام



نامطلوب در شرایط تنش بود و بنابراین فقط برای کاشت در شرایط بدون تنش خشکی مناسب است. در منطقه C ژنوتیپ‌های 582.1، 633.2 و 634.2 قرار داشتند. این ژنوتیپ‌ها فاقد عملکرد بالاتری نسبت به سایر ارقام در شرایط بدون تنش بوده ولی در شرایط تنش دارای عملکردی مطلوبی بودند، به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های مذکور دارای سازگاری اختصاصی با شرایط تنش خشکی هستند. ژنوتیپ‌های واقع در منطقه D شامل 678، 753.2، 2811 Arak، 622.2، 581 و 572.9 فاقد عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش بودند. در تحقیق امیدی (۲۰۰۹) نیز ژنوتیپ Arak 2811 نسبت به رقم محلی اصفهان و FO2 عملکرد دانه کمتری در شرایط بدون تنش خشکی و همچنین در شرایط قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی و دانه‌بندی، غنچه‌دهی و گلدهی و مرحله دانه‌بندی داشت. در تحقیق پاسبان اسلام (۲۰۱۰) در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، Arak 2811 دارای بالاترین عملکرد دانه و کمترین درصد افت عملکرد دانه در اثر تنش خشکی بود.

نتایج تجزیه رگرسیون عملکرد در شرایط تنش (به عنوان متغیر تابع) روی عملکرد در شرایط بدون تنش خشکی و تعداد روز تا گلدهی (به عنوان متغیرهای مستقل) در جدول ۴ ارائه شده است. ضریب تبیین رگرسیون (۰/۶۱) نشان‌دهنده این است که تغییرات عملکرد در شرایط تنش تا حدودی (و نه کاملاً) توسط تغییرات عملکرد بالقوه و زمان رسیدن قابل

این رو این شاخص‌ها قادر به تمایز ارقامی بودند که هم در شرایط مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی، عملکرد بالایی داشتند. ابوالحسینی و سعیدی (۲۰۰۶) و پورداد و همکاران (Pourdad *et al.*, 2008) شاخص STI را به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل گلرنگ گزارش کردند. پاک‌نیت و اشکانی (Pakniyat and Ashkani, 2003) گزارش کردند که از شاخص‌های GMP، MP، TOL و HM می‌توان برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی با توجه به اهداف به نژادی در گلرنگ بهاره استفاده کرد.

تفکیک نمونه‌های مورد بررسی بر اساس مناطق چهارگانه تعریف شده توسط فرناندز (Fernandez, 1992) و شاخص STI در شکل ۱ نشان داده شده است. ژنوتیپ‌های واقع در منطقه A عبارت از 532، IL111، 633.1، 642.2 و 772.1 بودند. این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد بالاتری در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بودند و بر اساس گروه‌بندی فرناندز در زمره نمونه‌های مطلوب قرار می‌گیرند. در این گروه، ژنوتیپ‌های IL111 و 772.1 دارای بیشترین مقدار از نظر شاخص‌های STI، GMP و MP بودند و به عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها از بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شناسایی شدند. تنها ژنوتیپ متعلق به منطقه B گروه‌بندی فرناندز، ژنوتیپ 562 بود. این ژنوتیپ دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و عملکرد

جدول ۴- تجزیه رگرسیون بین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (به عنوان متغیر تابع) با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی و تعداد روز تا گلدهی (به عنوان متغیرهای مستقل) در ژنوتیپ‌های گلرنگ پائیزه

Table 4. Regression analysis between seed yield in drought stress condition (dependent variable), seed yield in non- stress condition and days to flowering (independent variables) in autumn sown genotypes of safflower

متغیر	برآورد پارامتر	اشتباه استاندارد	مقدار t		ضریب تبیین
Variable	Parameter estimate	Standard error	t value	Pr >  t	Coefficient of determination
Intercept	3650.46	1494.80	2.44	0.03	0.61
Y <sub>P</sub>	0.55	0.20	2.80	0.02	
DTF	-17.21	6.93	-2.48	0.03	

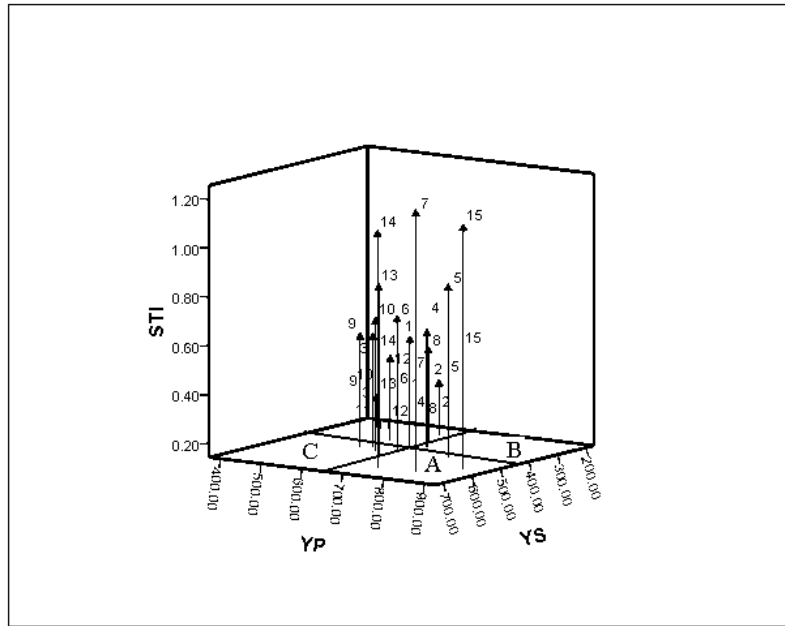
Y<sub>P</sub> و DTF: به ترتیب عملکرد در شرایط بدون تنش و تعداد روز تا گلدهی.

Y<sub>P</sub> and DTH: Seed yield in non-stress condition and days to flowering, respectively.

شرایط بدون تنش و فرار از خشکی قابل توجه است. بالعکس، هر چه فاصله نقاط از خط رگرسیون بیشتر باشد نشان‌دهنده عملکرد در محیط تنش، فارغ از عملکرد در شرایط بدون تنش و فرار از تنش است. شکل ۲ ژنوتیپ‌های JL111، 532، 634.2، 678، 572.9 و 753.2 در بالای خط رگرسیون واقع شدند و دارای مقدار مثبت شاخص DRI بودند. در این ژنوتیپ‌ها، عملکرد واقعی در شرایط تنش خشکی بالاتر از میزان عملکرد پیش‌بینی شد بود. به عبارت دیگر عملکرد دانه در این ژنوتیپ‌ها مستقل از عملکرد بالقوه و فرار از خشکی است. ژنوتیپ‌های 532 و 772.1 دارای بیشترین فاصله از خط رگرسیون و در عین حال عملکرد واقعی بالا در شرایط تنش بودند و در نتیجه به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی می‌شوند. با مراجعه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که این ژنوتیپ‌ها در منطقه A گروه‌بندی

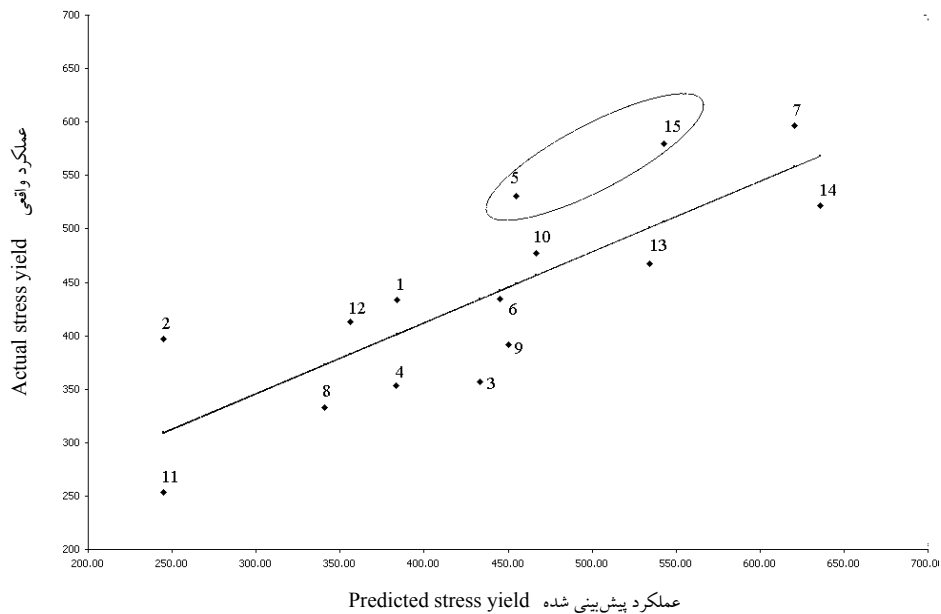
توجیه است، بنابراین فقط بخشی از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش متأثر از عملکرد بالقوه و زمان رسیدن است و بخش دیگر باید مربوط به تظاهر واقعی آن‌ها در شرایط تنش باشد. ضریب منفی متغیر تعداد روز تا گلدهی حاکی از رابطه معکوس آن با عملکرد دانه در شرایط تنش است. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های زودرس‌تر عملکرد بالاتری در شرایط تنش داشتند که نشان‌دهنده فرار از تنش خشکی است.

تفکیک ژنوتیپ‌ها براساس شاخص DRI در شکل ۲ نشان داده شده است. پراکنش ژنوتیپ‌ها در اطراف خط رگرسیون بیانگر میزان کمتر تاثیرپذیری تحمل به تنش در آن‌ها از عملکرد بالقوه و فرار از خشکی است به طوری که قرار گرفتن تمام نقاط بر روی خط رگرسیون نشان‌دهنده این است تمام تغییرات عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش توسط عملکرد در



شکل ۱- تفکیک ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی، بدون تنش و شاخص STI

Fig. 1. Discrimination of autumn sown genotypes of safflower based on seed yield in drought stress ( $Y_S$ ) and non-stress ( $Y_P$ ) conditions and STI



شکل ۲- پراکنش ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه در اطراف خط رگرسیون عملکرد واقعی/عملکرد پیش‌بینی شده در شرایط تنش خشکی

Fig. 2. Distribution of autumn sown genotypes of safflower around actual yield/predicted yield in drought stress condition regression line

ارقام عبارت از 532، IL111، 633.1، 642.2 و 772.1 (متعلق به منطقه A گروه‌بندی فرناندز، دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش) و 582.1 و 634.2 (متعلق به منطقه C گروه‌بندی فرناندز، دارای عملکرد بالا در شرایط تنش) بودند، بنابراین تفکیک ژنوتیپ‌ها بر مبنای مؤلفه‌های اصلی با نتایج گروه‌بندی فرناندز در تطابق بود.

در مؤلفه اصلی دوم ضریب عملکرد در شرایط تنش (YS) و DRI منفی بود و سایر ضرایب منفی بود. ضرایب متغیرهای YP، SSI، TOL و DRI صرف نظر از علامت دارای مقدار عددی بزرگ‌تری نسبت به STI، GMP، HM و MP بود. بر این اساس مؤلفه اصلی دوم ارقامی را متمایز می‌کند که در شرایط مطلوب دارای عملکرد بالایی اما به شدت متأثر از تنش هستند. در تحقیق ابوالحسنی و سعیدی (۲۰۰۶) پیرامون ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های انتخاب شده از توده‌های بومی گلرنگ، دو مؤلفه اصلی اول مبتنی بر YP، YS، STI، MP، GMP، TOL و SSI، ۹۹ درصد از تغییرات را در داشتند. در مؤلفه اول با سهم ۷۲ درصد از کل تغییرات، متغیرهای YP، YS، MP، GMP و STI دارای بزرگ‌ترین ضرایب بودند و این مؤلفه به عنوان پتانسیل تولید معرفی شد. در تحقیق گلپرور و پیربلوطی (Golparvar and Pirbalouti, 2008) ۹۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها مربوط به دو مؤلفه اول بود. ۶۵/۵ درصد از تغییرات کل

فرناندز واقع شده بودند. ژنوتیپ‌های 642.2، 633.1، 582.1، 633.2، 2811، Arak، 562، 622.2 و 581 در پائین خط رگرسیون واقع شده و دارای مقدار منفی شاخص DRI بودند. در این ژنوتیپ‌ها، عملکرد واقعی در شرایط تنش خشکی کمتر از میزان عملکرد پیش‌بینی شده بود، بنابراین نسبت به تنش خشکی حساس هستند. ژنوتیپ 2811 Arak در پائین خط رگرسیون، دارای بیشترین فاصله از آن بود و به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ شناسایی شد. این ژنوتیپ در منطقه D گروه‌بندی فرناندز قرار داشت.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس شاخص‌های مقاومت به خشکی انجام شد (جدول ۵). دو مؤلفه اصلی اول ۹۶/۹ درصد از کل تنوع موجود در داده‌ها را دربرداشتند و نشان می‌دهد که این مؤلفه‌ها توانسته‌اند تنوع موجود در داده‌ها را به خوبی توجیه کنند، بنابراین نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها مبتنی بر مؤلفه‌های مذکور قابل اعتماد است. در مؤلفه اصلی اول ضرایب متغیرهای YP، YS، STI، GMP، HM، MP و DRI، که مقدار بیشتر آن‌ها نشان‌دهنده تحمل بیشتر است، مثبت بود ولی ضرایب شاخص‌های SSI و TOL که مقدار کم‌تر آن‌ها مطلوب است، منفی بود. بنابراین ارقام متحمل دارای مقدار عددی بزرگ‌تری نسبت به ارقام حساس از نظر مؤلفه اصلی اول هستند. بر این اساس ارقام متحمل در سمت راست بای‌پلات قرار گرفتند (شکل ۳). این

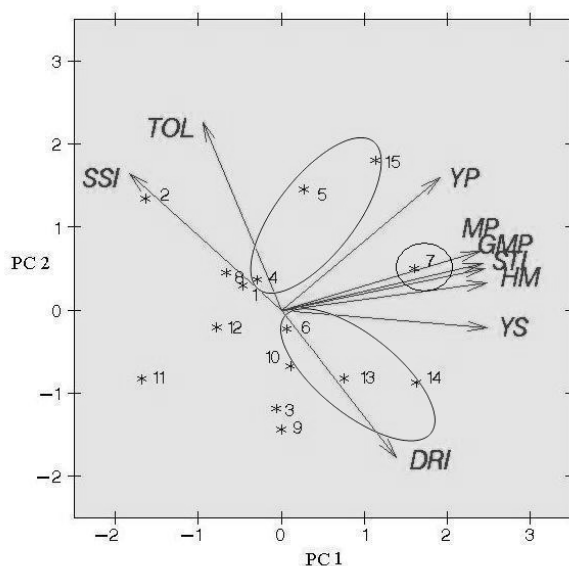
جدول ۵- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌های گلرنگ پائیزه

Table 5. Principal components analysis based on drought tolerance indices for autumn sown genotypes of safflower

Component	مؤلفه ویژه Eigen values	سهم تجمعی Cumulative proportion	شاخص‌های تحمل به خشکی Drought tolerance indices									
			YP	YS	STI	MP	GMP	HM	TOL	SSI	DRI	
1	6.36	0.706	0.303	0.394	0.385	0.380	0.388	0.393	0.151-	0.290-	0.219	
2	2.36	0.969	0.416	-0.056	0.145	0.185	0.131	0.084	0.590	0.428	0.462-	

For abbreviations see Table 2.

برای اختصارات به جدول ۲ مراجعه شود.



شکل ۳- بای‌پلات دو مؤلفه اصلی اول مبتنی بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش و شاخص‌های تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌های گلرنگ پائیزه

Fig. 3. Biplot of the first two principal components based on seed yield in drought stress and non-stress conditions and drought tolerance indices for autumn sown genotypes of safflower

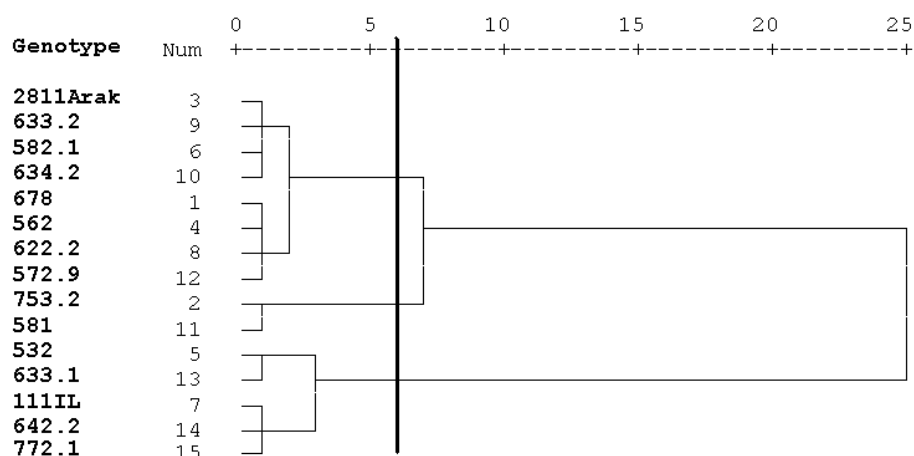
تحمل به تنش خشکی نامگذاری شد. بردارهای TOL و SSI در بای‌پلات دو مؤلفه اصلی (شکل ۳) دارای بیشترین فاصله از بردارهای YP و YS بودند که نشان‌دهنده

داده‌ها مربوط به اولین مؤلفه بود که همبستگی مثبت با عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش و شاخص‌های GMP و STI داشت و به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و

دارای بردارهای هم جهت با یکدیگر و همبستگی منفی آن‌ها با شاخص‌های گروه دیگر (دارای بردار خلاف جهت) بود. در بررسی مقاومت به خشکی ارقام گلرنگ بهاره در منطقه اصفهان توسط گلپرور و پیربلوطی (۲۰۰۸) بردارهای YP، YS، GMP، MP، TOL، SSI و STI در بای پلات دو مؤلفه اصلی اول همگی در یک جهت واقع شدند و از بین آن‌ها بردارهای GMP، MP و STI در حدفاصل بردارهای YP و YP قرار گرفتند که نشان‌دهنده وجود همبستگی آن‌ها با هر دو شاخص YP و YP بود.

تجزیه خوشه‌ای براساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های STI، GMP، MP و HM انجام شد (شکل ۴). ژنوتیپ‌ها در سه گروه اصلی قرار گرفتند؛ گروه اول شامل ژنوتیپ‌های 532، IL111، 642.2، 633.1 و 772.1 بود که همگی متعلق به منطقه A گروه‌بندی فرناندز و دارای عملکرد مطلوب در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بودند و به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل خشکی شناسایی شدند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های 753.2 و 581 بود. این ژنوتیپ‌ها متعلق به منطقه D گروه‌بندی فرناندز بودند. ژنوتیپ‌های این گروه نیز دارای کمترین عملکرد در شرایط تنش و کمترین مقدار شاخص‌های STI، GMP، MP و HM بودند و به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. گروه سوم مشتمل بر دو زیرگروه بود: زیر گروه اول شامل چهار ژنوتیپ

همبستگی کمتر بین شاخص‌های TOL و SSI با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش بود. بردار DRI نسبت به سایر بردارها دارای بیشترین زاویه با بردار YP و بر آن عمود بود که مؤید وجود همبستگی صفر بین دو متغیر مربوطه (DRI و YP) است. بردارهای STI، GMP، MP و HM در حد فاصل دو بردار YP و YS و در کمترین فاصله از آن‌ها واقع شدند که تأییدی بر همبستگی بالای آن‌ها با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش است. ژنوتیپ IL111 دارای کمترین فاصله با بردارهای STI، GMP، MP و HM بود که نشان‌دهنده وضعیت مطلوب این ژنوتیپ از نظر شاخص‌های مذکور است. همچنین ژنوتیپ IL111 تنها ژنوتیپی بود که در حد فاصل دو بردار YP و YS واقع شد که حاکی از وضعیت مطلوب آن از نظر عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش است. ژنوتیپ‌های 532، 562، 772.1 نسبت به بردار YP فاصله کمتری از بردار YS داشتند و دارای سازگاری بیشتری با شرایط مطلوب بودند. ژنوتیپ‌های 582.1، 633.1 و 642.2 فاصله کمتری نسبت به بردار YS در مقایسه با بردار YP داشتند و از این رو دارای سازگاری بیشتری با شرایط تنش خشکی هستند. در بررسی ابوالحسنی و سعیدی (۲۰۰۶) بردارهای YS، YP، GMP و MP در بای پلات دو مؤلفه اصلی اول، نزدیک به هم و دارای جهتی مخالف با بردارهای STI، SSI و TOL بودند که نشان‌دهنده همبستگی مثبت شاخص‌های



شکل ۴- دندوگرام تجزیه خوشه‌ای مبتنی بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش و شاخص‌های تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه

Fig. 4. Dendrogram of cluster analysis based on seed yield in drought stress and non-stress conditions and drought tolerance indices for autumn sown genotypes of safflower

مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های STI، GMP، MP و HM دارای کارایی بیشتری در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گلرنگ پاییزه بودند. ژنوتیپ‌های 532 (از اسپانیا)، IL111 (از ایران)، 633.1 (از ایران)، 642.2 (از ایران) و 772.1 (از ایالات متحده آمریکا) دارای پتانسیل عملکرد بالا در شرایط رطوبتی مطلوب و تحمل نسبت به تنش خشکی بودند. با توجه به دارا بودن منشاء متفاوت، این ژنوتیپ‌ها احتمالاً از آلل‌های متنوعی برای تحمل به خشکی برخوردار هستند و لازم است وجود تنوع آلی و یا مکانیسم‌های گوناگون مقاومت در این ژنوتیپ‌ها در تحقیقات آتی بررسی شود. به هر حال این ژنوتیپ‌ها منبع متنوعی از تحمل به خشکی را برای به‌نژادگر فراهم می‌کنند که در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود مقاومت به خشکی در

ژنوتیپ‌های 678، 562، 622.2 و 572.9 بود که ژنوتیپ‌های 678، 622.2 و 572.9 به منطقه D و ژنوتیپ 562 به منطقه B گروه‌بندی فرناندز تعلق داشتند. زیر گروه دوم شامل چهار ژنوتیپ 2811 Arak، 582.1، 633.2 و 634.2 بود که ژنوتیپ‌های 582.1، 633.2 و 634.2 به منطقه C و ژنوتیپ 2811 Arak به منطقه D گروه‌بندی فرناندز تعلق داشتند. ژنوتیپ 2811 Arak در بین ژنوتیپ‌های واقع در منطقه D گروه‌بندی فرناندز دارای بیشترین مقدار شاخص‌های STI، GMP و HM بود از نمونه‌های متعلق به منطقه D گروه‌بندی فرناندز منفک شده و در خوشه مربوط به ژنوتیپ‌های منطقه C قرار گرفت. با توجه به این موضوع نتایج تجزیه خوشه‌ای تا حدود زیادی با گروه‌بندی فرناندز تطابق داشت و توانست ژنوتیپ‌های مورد بررسی را به خوبی از یک‌دیگر تفکیک کند.

## References

- Abolhasani, K., and Saeidi, G. 2006.** Evaluation of drought tolerance in safflower lines based on water stress tolerance and susceptibility indices. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 3: 407-418. (in Persian).
- Akmal, M., Cheema, N. M., Khan, M. A., and Rana, M. A. 1999.** Evaluation of different safflower varieties under rainfed conditions. *Pakistan Journal of Biological Science* 2: 1352-1354.
- Arnon, J. 1972.** *Crop Production in Dry Region*. Leonard Hill Publisher, London, UK.
- Beyavvas, 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. *South African Journal of Biotechnology* 10: 527-534.
- Bidinger, F. R., Mahalakshmi, V., and Rao, G. D. P. 1987.** Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 49-59.
- Blum, A. 1988.** *Plant Breeding for Stress Environments*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.
- Chavan, V.M. 1961.** *Niger and Safflower*. Indian Central Oilseeds Committee, Examiner Press. Bombay, India. 150 pp.
- 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 Products* 27: 75-85.
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Pp. 257-270. In: Kuo, C. G (ed.) *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*. AVRDC, Shanhua, Taiwan.
- Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897-912.
- Golparvar, A. R., and Pirbalouti, A. G. 2008.** Assessment of drought resistance of spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in isfahan province. *Journal of Research in Agricultural Science* 4: 11-20.
- Haby, V. A., Black, A. L., Bergamn, J. W., and Larson, R. A. 1982.** Nitrogen fertilizer requirements of irrigated safflower in the Northern great plains. *Agronomy Journal* 74: 331-335.
- Hamdan, Y. A. S., Perez-Vich, B., Fernandez-Martinez, J. M., and Velasco, L. 2009.** Novel safflower germplasm with increased saturated fatty acid content. *Crop Science* 49: 127-132.
- Jamshidi-Moghaddam, M., and Pourdard, S. S. 2006.** Evaluation of safflower genotypes under water stress of controlled condition and field. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 2: 155-167 (in Persian).
- Kafi, M., and Rostami, M. 2007.** Yield characteristics and oil content of three safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars under drought in reproductive stage and irrigation with saline water. *Iranian Field Crop Research* 5: 121-131. (in Persian).



- Karamanos, A. J., and Papatheohari, A. Y. 1999.** Assessment of drought resistance of crop genotypes by means of the water potential index. *Crop Science* 39: 1792-1797.
- Knowles, P. F. 1989.** Centers of plant diversity and conservation of crop germplasm: safflower. *Economic Botany* 23: 324-329.
- Knowles, P. F., and Ashri, A. 1995.** Safflower *Carthamus tinctorius* (Compositae). pp. 47-50. In: Smartt, J., and Simmonds, N.W. (eds.) *Evolution of Crop Plants*, 2nd ed. Longman Scientific and Technical, London, UK.
- Kristin, A. S., Serna, R.A., Perez, F. I., Enriquez, B. C., Gallegos, J. A. A., Vallejo, P. R., Wassimi, N., and Kelley, J. D. 1997.** Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 27: 43-50.
- Leonard, J. E., and French, O. F. 1969.** Growth, yield and yield component of safflower as affected by irrigation regimes. *Crop Science* 61: 111-113.
- Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., and Tommaso, D. T. 2007.** Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agricultural Water Management* 92: 73-80.
- Omidi, A. H. 2009.** Effect of drought stress at different growth stages on seed yield and some agro-physiological traits of three spring safflower cultivars. *Seed and Plant Production Journal* 25-2: 15-32 (in Persian).
- Pakniyat, H., and Ashkani, J. 2003.** Genetic investigation of quantitative indices of drought resistance in spring safflower (*Carthamus tinctorius*). *Agricultural Sciences and Technology Journal* 17: 31-35 (in Persian).
- Pasban Eslam, B., 2010.** An evaluation of spring types of safflower genotypes for late season water deficit tolerance. *Iranian Journal of Field Crop Science* 40: 197-206 (in Persian).
- Pourdard, S.S., Alizadeh, K., Azizinejad, R., Shariati, A., Eskandari, M., Khiavi, M., and Nabatee, E. 2008.** Study on drought resistance in safflower (*Carthamus tinctorius*) in different locations. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 12: 403-416 (in Persian).
- Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non - stress environments. *Crop Science* 21: 943 - 946.
- Singh, R.P., and Singh, M.P. 1989.** Response of safflower to moisture regimes, plant population and phosphorus. *Indian Journal of Agronomy* 34: 88-91.
- Sirousmehr, A., Shakiba, M. R., Alyari, H., Toorchi, M., and Mohammadinasab, A. D. 2008.** Effects of water deficit stress and plant density on yield and some morphological traits of Autumn-sown safflower cultivars. *Pajouhesh and Sazandegi* 78: 80- 87 (in Persian).
- Weiss, E.A. 2000.** *Oil Seed Crops*. Blackwell Science Ltd., Oxford, UK. Koocheki, A. 1998. *Production and improvement of crops for dry land*. Jihad-e-Daneshgahi Mashhad Publications. Mashhad, Iran (in Persian).
- Yazdi-Samadi, B., and Abd-Mishani, C. 1994.** *Breeding Field Crops*. Markaz-e-Nashr-e-Daneshgah. Tehran, Iran (in Persian).
- Zheng, N., Futang, C., Xinchun, S., and Yancai, W. 1993.** Path analysis of correlated characters on flower yield of safflower individuals. *Proceedings of the Third International Safflower Congress*, 14-18 June, 1993. Beijing, China.