به نژادی گیاهان زراعی و باغی
دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵
صفحه‌های ۱۸۱-۱۶۷
انتشار الکترونیکی: بهار ۱۳۹۸

ارزیابی تحمل خشکی هیبرید بین‌گونه‌ای و چند ژنوتیپ گلرنگ با استفاده از شاخص‌های مقاومت به خشکی

ساره قاسمی[۱]، محمدرضا سبزعلیان[۲*]، محمدحسین اهتمام[۳]، قدرت اله سعیدی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.
۲. دانشیار، گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.
۳. استادیار، گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.
۴. استاد، گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶

چکیده

مطالعه‌ای با هدف ارزیابی تحمل خشکی ژنوتیپ‌های حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای در مقایسه با ارقام تجاری گلرنگ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار و در دو سطح رطوبتی به‌عنوان محیط (نرمال و تنش ۹۰٪ تخلیه رطوبتی) انجام شد. ۵ ژنوتیپ گلرنگ شامل A82 (هیبرید بین‌گونه‌ای (گلرنگ زراعی *Carthamus tinctorius* L. با گونه وحشی *C. oxyacanthus*) گلرنگ در نسل F_7، کوسه (توده)، گلدشت، C_{111} و Ac-stirling (به‌عنوان ژنوتیپ‌های تجاری گلرنگ و شاهد) در هر محیط در قالب طرح بلوک کامل تصادفی کشت شدند و هفت شاخص مقاومت به خشکی شامل شاخص تحمل به خشکی (STI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص حساسیت به خشکی (SSI)، شاخص میانگین تولید (MP) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، Y_P و Y_S (به‌ترتیب عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و عدم تنش)، برای هر ژنوتیپ براساس عملکرد دانه تحت شرایط تنش و عدم تنش محاسبه گردید. نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر همه صفات تفاوت معنی‌داری با هم داشتند. تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات قطر غوزه، تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه، وزن دانه در غوزه و عملکرد دانه داشت. نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد میانگین ژنوتیپ‌های شاهد از نظر صفات وزن هزار دانه، وزن دانه در غوزه، عملکرد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد سطح با جمعیت A82 در هر دو شرایط محیطی تفاوت معنی‌داری نداشتند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز نشان داد که مؤلفه اول و دوم مجموعاً ۹۱ درصد از تغییرات بین شاخص‌های تحمل به خشکی را توجیه کردند. مؤلفه اول ۶۷ درصد از تغییرات و مؤلفه دوم ۲۴ درصد از تغییرات را توجیه نمود. تجزیه بای‌پلات بر اساس شاخص‌های GMP، STI و MP، جمعیت A82 و گلدشت را به‌عنوان بهترین ژنوتیپ متحمل به خشکی معرفی کرد. ژنوتیپ A82 که حاصل تلاقی بین‌گونه‌ای گلرنگ زراعی (*Carthamus tinctorius* L.) با گونه وحشی *C. oxyacanthus* است دارای عملکرد بالای دانه در هر دو شرایط تنش و عدم تنش در مقایسه با ارقام تجاری گلرنگ بود. بنابراین احتمالاً می‌توان این ژنوتیپ را در برنامه‌های آتی اصلاحی تحمل به تنش خشکی گلرنگ به‌کار برد.

کلیدواژه‌ها: تلاقی بین‌گونه‌ای، تنش خشکی، عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل، گلرنگ.

* نویسنده مسئول
Email: sabzalian@cc.iut.ac.ir

مقدمه

روغن یکی از مواد غذایی اصلی مورد نیاز بشر است و حدود ۲۰ درصد کالری مورد نیاز انسان بسته به رژیم‌های غذایی متفاوت، توسط روغن تأمین می‌شود. روغن و چربی مورد نیاز بشر عمدتاً از ۹ منبع گیاهی یکساله (سویا، کلزا، آفتابگردان، ذرت، پنبه دانه، کنجد، کتان، کرچک و گلرنگ) تأمین می‌گردد. گلرنگ با خصوصیات مطلوب زراعی نظیر مقاومت نسبی به شوری و خشکی، مقاومت بالا به سرمای زمستانه (تیپ پاییزه) و وجود روغنی مطلوب با بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع بخصوص اسید لینولئیک، همواره به‌عنوان یک دانه روغنی با ارزش مطرح بوده است [۱]. در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران توسعه کشت گیاهان زراعی مقاوم به خشکی ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. توان گلرنگ در جذب آب از خاک بیش از گندم و جو می‌باشد اما راندمان مصرف آب در گلرنگ کمتر از گندم و جو است. گزارش شده است که تنش خشکی با افزایش کربوهیدرات‌های محلول در آب باعث القای تحمل خشکی در گلرنگ می‌گردد [۲۴]. پیچیدگی صفت تحمل خشکی و نبود معیارها و روش‌های مؤثر برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل باعث شده که اصلاح برای تحمل خشکی همواره با مشکلات خاص خود همراه باشد [۱۲]. به همین دلیل شاخص‌های مختلفی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و متحمل به تنش برای کشت در شرایط دارای تنش رطوبتی پیشنهاد شده است [۱۵].

روزیل و همبلین [۲۱] شاخص‌های تحمل (TOL) (Tolerance) و شاخص میانگین تولید (MP) (Mean Productivity) را پیشنهاد نمودند و معتقدند که انتخاب بر مبنای مقادیر کمتر TOL به گزینش ژنوتیپ‌هایی منجر می‌شود که عملکرد آنها در محیط تنش نسبت به محیط بدون تنش، کاهش کمتری داشته و دارای ثبات عملکرد خواهد بود و همچنین معتقدند که انتخاب بر مبنای شاخص MP به گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا ولی با تحمل به تنش پایین منجر می‌شود. شاخص حساسیت به خشکی (SSI) با محاسبه شاخص شدت تنش (SI) جهت تعیین میزان حساسیت ژنوتیپ‌ها به خشکی پیشنهاد شد و مقدار SSI کمتر از یک نشان‌دهنده مقاومت ژنوتیپ به خشکی است [۱۶]. بنابراین انتخاب براساس شاخص SSI به گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ولی با پتانسیل عملکرد پایین منجر می‌شود.

شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی شدند [۱۵]. شاخص STI قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالقوه بالا در شرایط تنش و بدون تنش بوده و مقادیر بالای آن بیانگر ثبات عملکرد بیشتر ژنوتیپ در شرایط خشکی است. به‌نظر می‌رسد که شاخص‌های SSI وTOL برای این منظور مناسب نیستند. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد دانه در شرایط مطلوب و تنش، این شاخص‌ها را معیارهای مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی کردند [۵].

در گلرنگ مطلوبیت شاخص‌های MP، GMP و STI برای انتخاب ژنوتیپ های با عملکرد بالا در شرایط تنش و عدم تنش گزارش شده است [۱۸]. همچنین شاخص‌های GMP و STI بهترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد زیاد در فسکیوی بلند معرفی شدند [۱۴]. شیراوند و مجیدی [۳] در بررسی تحمل به خشکی پنج گونه اهلی و وحشی گلرنگ نشان دادند که تفاوت بسیار زیادی بین گونه‌های گلرنگ از نظر صفت تحمل به خشکی وجود دارد و دوگونه خویشاوند و تلاقی‌پذیر با گونه زراعی یعنی *C. palaestinus* (به‌دلیل عملکرد بالا در هر دو شرایط رطوبتی و شاخص

STI بالا) و *C. oxyacanthus* (به‌دلیل عدم کاهش عملکرد در شرایط تنش) را می‌توان برای انتقال صفت تحمل به خشکی به گونه زراعی به‌کار برد.

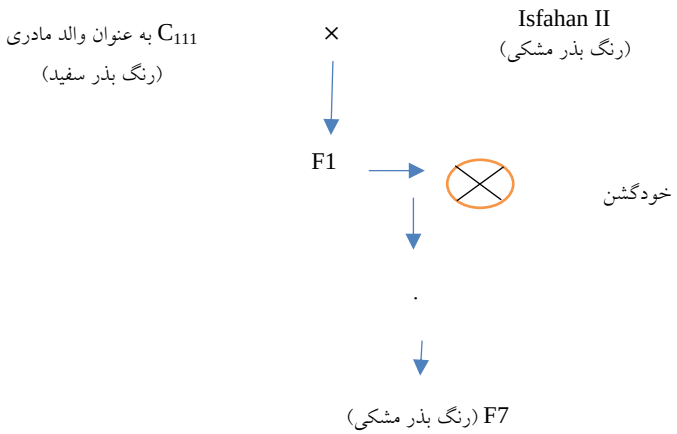
با توجه به این‌که ایران جزء مناطق خشک محسوب می‌شود از این‌رو ایجاد ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی همواره به‌عنوان یکی از اهداف اصلی اصلاحگران بوده است. در این میان استفاده از تلاقی‌های بین‌گونه‌ای به‌منظور انتقال خصوصیات مورد نظر از خویشاوندان وحشی به گلرنگ زراعی روشی مناسب و کارآمد به‌نظر می‌رسد. همچنین گونه‌های وحشی گلرنگ می‌توانند به‌عنوان منبع مهمی از ژن‌های مطلوب برای بهبود بسیاری از صفات مهم گلرنگ زراعی نظیر افزایش تحمل نسبت به خشکی و شوری محسوب شوند [۱۰]. تلاقی بین‌گونه‌ای موفق بین گونه اهلی *C. tinctorius* و گونه وحشی *C. oxyacanthus* قابل انجام است و همولوژی کامل بین دو ژنوم وجود دارد و از نظر تولید بذر با موفقیت زیادی همراه است [۲]. گونه وحشی *C. oxyacanthus* از پایداری عمومی بالایی نیز تحت شرایط تنش خشکی برخوردار است [۱۸]. مطالعه‌ای در گلرنگ نیز نشان داد که در نسل F3 حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای گلرنگ اهلی با گونه وحشی *C. oxyacanthus* امکان یافتن فامیل‌هایی با عملکرد بالاتر و مقاوم‌تر به تنش خشکی در مقایسه با دو والد اهلی و وحشی آن وجود دارد [۷].

تنش خشکی تأثیر منفی بر تولید محصولات زراعی دارد، بنابراین یافتن ژنوتیپ‌هایی با میزان تحمل بیشتر به خشکی و خسارت کمتر در عملکرد و معرفی روش‌های مناسب انتخاب در شرایط تنش و عدم تنش برای مطالعات به‌نژادی آینده امری ضروری است. نظر به تأثیر مثبت تلاقی بین گونه‌ای در گلرنگ جهت افزایش مقاومت به تنش‌های غیر زیستی، هدف این تحقیق ارزیابی تحمل به خشکی یک ژنوتیپ حاصل از تلاقی بین گونه‌ای در مقایسه با برخی ژنوتیپ‌های تجاری گلرنگ و با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش بود تا بتوان برترین ژنوتیپ‌ها و همچنین بهترین شاخص را برای شناسایی متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی معرفی نمود. درصورتی‌که ژنوتیپ حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای برتری قابل توجهی نسبت به ارقام تجاری موجود نشان دهد، می‌تواند ژنوتیپ امیدبخش تحقیقات اصلاحی آینده باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۴ با هدف ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای (گلرنگ زراعی (*Carthamus tinctorius* L.) با گونه وحشی *C. oxyacanthus*) در مقایسه با ارقام تجاری (شاهد) گلرنگ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان در منطقه لورک شهرستان نجف‌آباد واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب‌غربی اصفهان که طبق دسته‌بندی کوپن، دارای اقلیم نیمه‌خشک با تابستان‌های خشک است، انجام گرفت. مواد ژنتیکی مورد استفاده در این پژوهش شامل ژنوتیپ حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای بین گلرنگ اهلی *C. tinctorius* (ژنوتیپ C_{111}) و گلرنگ وحشی *C. oxyacanthus* (ژنوتیپ Isfahan II) به نام A82 در نسل F7 به‌همراه ۴ ژنوتیپ تجاری (شاهد) گلرنگ شامل C_{111}، AC-stirling، کوسه و گلدشت بود. ژنوتیپ A82 دارای پوسته بذر مشکی ولی سایر ژنوتیپ‌ها دارای پوسته بذر سفید هستند (جدول۱). در طی نسل‌های متوالی در جمعیت حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای، انتخاب تک‌بوته‌ها برای قابلیت تولید بذر حاصل از خودگشنی و همچنین عدم ریزش بذر صورت گرفته است، این در حالی است که در نسل‌های اولیه، گیاهان خودناسازگار بودند و ریزش بذر وجود داشت.

نمودار تشکیل A82 به شرح زیر است:



در این تحقیق از هر ژنوتیپ ۲ ردیف با فاصله ۴۰ سانتی متر و با طول ۲ متر و فاصله بین بوته‌ها در روی ردیف برابر ۱۰ سانتی‌متر کشت گردید. این آزمایش به‌طور جداگانه در دو محیط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی و هر یک در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. همه مدیریت‌های زراعی (مثل مراحل کاشت، داشت و مراقبت‌های مربوط به این دوره) و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی به‌صورت یکسان اعمال شد. در زمان شروع تنش با اندازه‌گیری رطوبت خاک و محاسبه عمق آبیاری، ابتدا وضعیت تمام کرت‌ها از نظر رطوبتی یکسان شد. تیمار بدون تنش رطوبتی با اعمال ضریب MAD (توسط کسری از کل آب در دسترس که می‌تواند از عمق توسعه ریشه تخلیه گردد، بدون این‌که به گیاه تنشی وارد شود) برابر با ۵۰ درصد و محیط تنش رطوبتی با اعمال ضریب MAD برابر با ۹۰ درصد بود [۹]. برای اطمینان از عدم تنش در تیمار شاهد و اطمینان از وجود تنش رطوبتی در تیمار تنش، نمونه‌برداری خاک در هر تکرار از تیمارها و در دو محل و در سه عمق مختلف از عمق توسعه ریشه صفر تا ۲۰ سانتی‌متر، ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر صورت گرفت و درصد رطوبت خاک محاسبه گردید. به‌منظور کنترل میزان تبخیر و تعرق و نیز اطمینان از اعمال تنش، نمونه‌برداری‌های مرتب صورت گرفت. عملکرد دانه در واحد سطح بر اساس کیلوگرم در هکتار، بعد از رسیدگی کامل ردیف‌های کشت و بر اساس برداشت و بوجاری غوزه‌ها در هر واحد آزمایشی تعیین شد.

شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به شرح زیر محاسبه شد:

شاخص تحمل (TOL) [۲۱]:

$$TOL = (Y_P - Y_S) \quad (۱)$$

شاخص میانگین تولید (MP) [۲۱]:

$$MP = (Y_P + Y_S)/2 \quad (۲)$$

به‌طوری‌که Y_P و Y_S، به‌ترتیب عملکرد یک ژنوتیپ را در شرایط تنش و عدم تنش نشان می‌دهد.

مقادیر زیاد TOL بیانگر حساسیت بیشتر و مقادیر بالای MP بیانگر تحمل بیشتر به شرایط تنش می‌باشد.

شاخص حساسیت به خشکی (SSI) [۱۶]:

$$SSI = \frac{1-\left[\frac{Y_S}{Y_P}\right]}{SI} \quad (۳)$$

SI (Stress Intensity) برابر است با شدت تنش:

$$SI = 1 - \frac{\overline{Y_S}}{\overline{Y_P}} \quad (۴)$$

$\overline{Y_S}$ متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش

می‌باشد. $\overline{Y_P}$ برابر متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش می‌باشد. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ‌هایی که مقدار SI کمتری دارند، تحمل بیشتری به شرایط تنش دارند.

شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) [۱۵]:

$$GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S} \quad (۵)$$

مقادیر بالای این شاخص برای یک ژنوتیپ، نشان‌دهنده تحمل بیشتر آن به تنش است.

شاخص تحمل به تنش (STI) [۱۵]:

$$STI = \frac{Y_P \times Y_S}{{Y_P}^2} \quad (۶)$$

مقادیر بالای STI برای یک ژنوتیپ، نشان‌دهنده تحمل بیشتر آن به تنش است.

جدول ۱. مشخصات ژنوتیپ‌های مورد آزمایش

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	رنگ بذر	منشأ
۱	A82	مشکی	ایران (اصفهان)
۲	کوسه	سفید	اصفهان
۳	گلدشت	سفید	ایران (آذربایجان غربی)
۴	C_{111}	سفید	اصفهان (از توده کوسه)
۵	AC-Stirling	سفید	کانادا

صفات مورد بررسی در این مطالعه شامل تعداد انشعاب، قطر غوزه، تعداد دانه در غوزه، تعداد غوزه در بوته، وزن دانه در غوزه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد سطح بود.

تجزیه واریانس و سپس مقایسه میانگین صفات به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت. برای ترسیم بای‌پلات از نرم‌افزار Stat Graphics و برای ترسیم پراکنش ژنوتیپ‌ها از نرم‌افزار Sigma Plot استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که محیط رطوبتی بر صفات تعداد انشعاب، وزن هزار دانه، وزن دانه در غوزه و درصد روغن تأثیر معنی‌داری نداشت ولی صفات تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه، قطر غوزه، وزن دانه در غوزه، عملکرد دانه در بوته و عملکرد در واحد سطح را تحت تأثیر قرار داد (جدول۲). برای مشخص شدن تفاوت ژنوتیپ‌ها، مواد گیاهی به دو گروه شاهد (شامل ژنوتیپ‌های کوسه، گلدشت، C_{111}، Ac-stirling) و شاهد در برابر جمعیت A82 شکسته شد. جمعیت A82 به‌عنوان جمعیت حاصل از تلاقی بین گونه تلقی شد که در برابر سایر ژنوتیپ‌های تجاری مورد مقایسه قرار گرفت.

ژنوتیپ‌های شاهد از نظر صفات تعداد انشعاب، قطر غوزه، تعداد دانه در غوزه، وزن دانه در غوزه، وزن هزاردانه، درصد روغن، عملکرد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد سطح تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. در گروه شاهد در برابر A82 نیز برای همه صفات به‌جز وزن دانه در غوزه، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در واحد سطح تفاوت معنی‌داری وجود داشت. از نظر این صفات میانگین ژنوتیپ‌های شاهد از میانگین جمعیت A82 بیشتر بود (جدول ۳) که نشان‌دهنده برتری نسبی ژنوتیپ‌های شاهد است. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای صفات مختلف به‌جز تعداد دانه در غوزه، عملکرد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد سطح معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده عدم رتبه‌بندی متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف رطوبتی است (جدول ۲). نتایج مطالعه محسنی و همکاران [۶] هم نشان داد اثر متقابل تیمار و محیط رطوبتی برای همه صفات گلرنگ به‌جز عملکرد دانه و وزن صد دانه معنی‌دار نبود. این مطلب ممکن است به تعداد کم ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بستگی داشته باشد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفات مختلف ژنوتیپ‌های گلرنگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		تعداد انشعاب در بوته	تعداد غوزه در بوته	قطر غوزه	تعداد دانه در غوزه	وزن دانه در غوزه	وزن هزاردانه	درصد روغن	عملکرد دانه در بوته	عملکرد دانه در واحد سطح
محیط	۱	۰/۳۲۲^{ns}	۹/۳۶*	۴/۰۷*	۱۰۳/۱۹*	۰/۲۱۰^{ns}	۰/۳۰^{ns}	۵۸/۵۴^{ns}	۱۶۵/۹۱*	۲۱۰۰۱۳۰*
تکرار (محیط)	۴	۱/۳۴۳	۱۵/۹۲۷	۰/۵۴	۴/۰۱	۰/۱۴۴	۰/۱۱	۵/۳۰	۷/۳۵۴	۹۵۱۰۳۶
ژنوتیپ	۴	۱۹/۴۵۸**	۲۹/۵۰۹**	۱۴/۳۲**	۲۱۸/۹۹**	۱/۹۱۸**	۲/۱۸**	۵۴/۶۶**	۹/۳۳*	۱۴۱۷۴۵*
شاهدها	۳	۶/۱۹*	۱۰/۵۸^{ns}	۳/۴۹**	۶۵/۴۴**	۲/۵۴*	۲/۸۵**	۳۱/۶۷*	۱۰/۰۰*	۱۸۴۳۵۹*
A82 در مقابل شاهد	۱	۵۹/۲۴**	۸۶/۲۹**	۴۶/۸۱**	۶۷۹/۶۳**	۰/۰۳^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۱۲۳/۶۴**	۷/۳۳*	۱۳۹۰۶۰ ^{ns}
ژنوتیپ× محیط	۴	۰/۵۹۳^{ns}	۱۴/۵۱۹^{ns}	۰/ ۳۵^{ns}	۱۶/۱۳*	۰/۵۱۵^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۲/۸۴^{ns}	۱/۴۶*	۹۳۲۱۵۸*
خطا	۱۶	۱/۱۹	۵/۷۵	۰/۲۶	۲/۶۶۲	۰/۲۲	۰/۰۴۸	۴/۳۵	۱/۰۸	۲۹۹۶۰۷

*، **: به‌ترتیب بیانگر معنی دار بودن منبع در سطح ۵ و ۱ درصد است و ns بیانگر عدم وجود اثر معنی‌دار می‌باشد.

مقایسه میانگین صفات

نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد بررسی (جدول۳) نشان داد که در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی برای صفت تعداد انشعاب، جمعیتA82 کمترین مقدار را داشت و ژنوتیپ‌های شاهد دارای بیشترین میانگین بودند. از نظر اندازه قطر غوزه، ژنوتیپ‌ها درون گروه شاهد و شاهد در برابر جمعیت A82 در سطح آماری ۱درصد تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). بیشترین قطر غوزه مربوط به میانگین ژنوتیپ‌های شاهد در محیط عدم تنش و تنش خشکی به‌ترتیب برابر با ۲۱/۶۳ و ۲۰/۹۴ و کمترین مقدار قطر غوزه برای جمعیت A82 برابر با ۱۸/۶۴ و ۱۷/۶۹ به‌ترتیب در شرایط عدم تنش و تنش بود (جدول ۳). برای صفت تعداد غوزه در بوته در شرایط عدم تنش، ژنوتیپ‌های شاهد با میانگین ۱۴/۷۰ نسبت به جمعیت A82 با میانگین ۱۲/۰۷ اختلاف معنی‌داری نداشتند و برای محیط تنش رطوبتی نیز هیچ تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. بیشترین میزان تعداد دانه در غوزه در محیط عدم تنش و تنش به‌ترتیب با مقدار ۲۵/۵۶ و ۲۱/۵۸ مربوط به میانگین ژنوتیپ‌های شاهد بود. همچنین کمترین مقدار میانگین تعداد دانه در غوزه در محیط عدم تنش و تنش مربوط به جمعیت A82 (با مقدار میانگین ۱۸/۹۹در محیط عدم تنش و ۱۵/۳۶ در محیط تنش) بود.

برای صفت وزن دانه در غوزه در شرایط عدم تنش، میانگین ژنوتیپ‌های شاهد با ۲/۴۳ گرم کمتر از ژنوتیپ A82 با میانگین ۲/۷۰ گرم بود و برای محیط تنش خشکی نیز ژنوتیپ‌های شاهد با ۲/۴۳ گرم و جمعیت A82 با ۱/۹۴ گرم تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. از نظر صفت وزن هزاردانه در شرایط عدم تنش و تنش بین میانگین ژنوتیپ‌های شاهد و ژنوتیپ A82 تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. از نظر صفت درصد روغن در شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی، ژنوتیپ A82 بیشترین میزان درصد روغن را به خود اختصاص داد. کمترین میزان درصد روغن در شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی مربوط به میانگین ژنوتیپ‌های شاهد بود.

در محیط عدم تنش و تنش رطوبتی، بین میانگین ژنوتیپ‌های شاهد و ژنوتیپ A82 از نظر صفت عملکرد بوته و عملکرد در واحد سطح تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

جدول ۳. میانگین صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط عدم تنش و تنش

نام ژنوتیپ	تعداد انشعاب در بوته		تعداد غوزه در بوته		قطر غوزه (mm)		تعداد دانه در غوزه		وزن دانه در غوزه (gr)		وزن هزاردانه (gr)		درصد روغن		عملکرد دانه در بوته (gr)		عملکرد در واحد سطح (kg/ha)	
	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش	عدم تنش	تنش
کوسه	۹/۵۰^{a}	۹/۵۰^{a}	۱۲/۶۱^{a}	۱۲/۵۶^{a}	۲۲/۷۵^{a}	۲۱/۵۰^{a}	۳۱/۸۰^{a}	۲۳/۶۴^{a}	۲/۲۸^{bc}	۲/۰۴^{b}	۲۹/۳^{abc}	۲۶/۶^{c}	۲۱/۷۶^{bc}	۱۸/۹۷^{c}	۱۲/۶۸^{a}	۸/۷۸^{a}	۲۸۰۵^{a}	۲۱۱۷/۸^{a}
گلدشت	۸/۹۳^{a}	۸/۹۳^{a}	۱۵/۶۳^{a}	۱۴/۱۴^{a}	۲۲/۰۴^{a}	۲۱/۳۴^{a}	۲۲/۳۳^{b}	۱۷/۰۲^{b}	۳/۴۵^{a}	۳/۳۵^{a}	۴۴/۸^{b}	۳۹/۵^{a}	۲۱/۳۷^{c}	۲۰/۶۴^{c}	۱۵/۵۳^{a}	۱۰/۸۵^{a}	۳۶۸۳^{a}	۲۸۸۰/۸^{a}
C_{111}	۱۰/۸۲^{a}	۱۰/۸۲^{a}	۱۴/۱۶^{a}	۱۵/۵۰^{a}	۲۰/۸۶^{b}	۲۰/۰۲^{b}	۲۲/۶۶^{b}	۲۳/۳۰^{a}	۱/۵۸^{c}	۲/۳۳^{b}	۳۰/۰^{bc}	۲۶/۸^{c}	۲۵/۰۵^{abc}	۲۰/۶۴^{bc}	۱۵/۱۶^{a}	۱۰/۹۲^{a}	۳۰۲۴/۲^{a}	۲۱۹۵/۵^{a}
Ac-stirling	۱۰/۱۶^{a}	۱۰/۱۶^{a}	۱۵/۹۶^{a}	۱۵/۳۸^{a}	۲۰/۸۷^{b}	۲۰/۹۲^{a}	۲۵/۴۷^{b}	۲۲/۳۴^{a}	۲/۴۴^{bc}	۲/۰۳^{ba}	۲۸/۹^{c}	۲۸/۹^{c}	۲۶/۴۲^{ab}	۲۳/۲۵^{b}	۱۵/۷۴^{a}	۱۱/۴۳^{a}	۳۰۶۸/۳^{a}	۲۱۵۹/۲^{a}
میانگین شاهد	۹/۸۵^{a}	۹/۸۵^{a}	۱۴/۷۰^{a}	۱۴/۳۹^{a}	۲۱/۶۳^{a}	۲۰/۹۴^{a}	۲۵/۵۶^{a}	۲۱/۵۸^{a}	۲/۴۳^{a}	۲/۴۳^{a}	۳۳/۱^{a}	۳۰/۴^{a}	۲۳/۶۵^{a}	۲۰/۹۷^{b}	۱۴/۷۷^{a}	۱۰/۴۹^{a}	۳۱۴۵/۱۲^{a}	۲۲۳۷/۰۵^{a}
A82	۶/۱۵^{b}	۶/۱۵^{b}	۱۲/۰۷^{a}	۱۳/۴۴^{a}	۱۸/۶۴^{b}	۱۷/۶۹^{b}	۱۸/۹۹^{b}	۱۵/۳۶^{b}	۲/۷۰^{a}	۱/۹۴^{a}	۳۳/۱^{a}	۳۱/۱^{a}	۲۷/۳۶^{a}	۲۶/۷۶^{a}	۱۴/۶۰^{a}	۸/۲۰^{a}	۳۱۸۴/۳^{a}	۲۲۱۸^{a}
LSD	۲/۲۶	۲/۲۶	۳/۵۵	۵/۳۰	۱/۱۶	۰/۷۱	۳/۲۳	۲/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۶	۴/۱	۴/۱	۴/۶۵	۳/۰۳	۴/۵۸	۴/۰۵	۱۰۶۵	۹۹۴/۹۷

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند.

مقایسه رتبه‌بندی شاخص‌ها

در ابتدا شاخص حساسیت به تنش (SSI) مورد بررسی قرار گرفت که مقادیر کمتر آن نشان‌دهنده تحمل بالای ژنوتیپ به تنش خشکی است. نتایج مقایسه میانگین شاخص‌ها (جدول ۴) نشان داد که براساس این شاخص توده کوسه کمترین حساسیت را به تنش رطوبتی داشت و رتبه ۱ را کسب نمود و جزء متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی بود و ژنوتیپ AC-Stirling با رتبه ۵ بیشترین حساسیت را دارا بود (جدول ۴) که جزو حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها محسوب شد. ژنوتیپ A82 در رتبه سوم قرار داشت، به این معنی که نسبت به تنش حساسیت زیادی نشان نمی‌دهد. با این حال گزارش شده است شاخص SSI نمی‌تواند ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و ژنوتیپ‌هایی را که پتانسیل عملکرد پایینی دارند از هم متمایز کند [۱۸] و به‌طورکلی انتخاب بر اساس شاخص‌های حساسیت به تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش عملکرد در محیط‌های مساعد گردد [۱۱].

مقادیر عددی پایین شاخص تحمل TOL نیز نشان‌دهنده تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها است. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس این شاخص (جدول ۴) نشان داد که توده کوسه با کمترین افت عملکرد در شرایط تنش به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ براساس شاخص TOL مشخص گردید و در رتبه ۱ قرار گرفت و Ac-stirling حساس‌ترین ژنوتیپ بود و با بیشترین کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی، کمترین تحمل را به شرایط کم‌آبی نشان داد و رتبه ۵ را کسب نمود. انتخاب براساس شاخص تحمل اغلب موجب انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در شرایط بدون تنش، عملکرد پایین‌تری دارند [۲۱]. انتخاب براساس SSI و TOL منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در شرایط بدون تنش دارای عملکرد پایین‌ترند ولی در شرایط دارای تنش، عملکرد نسبتاً بالاتری دارند [۱۵].

مقادیر زیاد شاخص بهره‌وری متوسط (MP) نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش است و اغلب به گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد زیاد در شرایط عادی، ولی تحمل کم به شرایط تنش منجر می‌شود [۲۰]. در این مطالعه در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، توده کوسه کمترین میزان MP (حساس‌ترین) و ژنوتیپ گلدشت و جمعیت A82 بیشترین میزان MP (متحمل‌ترین) را به خود اختصاص دادند. جمعیت A82 رتبه ۲ را کسب نمود و ژنوتیپ‌های Ac-stirling، C_{111}، گلدشت و کوسه به‌ترتیب رتبه ۳، ۴، ۱ و ۵ را کسب کردند (جدول ۴). البته شاخص MP برای گزینش ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش عملکرد خوبی دارند، چندان مناسب نیست. شاخص MP زمانی مناسب است که شدت تنش زیاد نباشد و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نیز زیاد نباشد [۲۳]. شاخص MP قادر به تفکیک ژنوتیپ‌هایی با مقدار Y_P زیاد و Y_S نسبتاً کم (گروه B) می‌باشد، اما عیب عمده این شاخص عدم توانایی تشخیص بین گروه A و B فرناندزی است [۲۲].

براساس شاخص GMP مقادیر بالای شاخص، نشان‌دهنده تحمل ژنوتیپ‌ها است که از این نظر ژنوتیپ گلدشت و جمعیت A82 بیشترین میزان GMP را دارا بودند درحالی‌که کمترین میزان GMP به توده کوسه تعلق داشت. به‌طورکلی براساس شاخص‌های TOL و SSI، توده کوسه بیشترین تحمل را به تنش رطوبتی نشان داد (جدول ۴) ولی از لحاظ شاخص‌های MP و GMP جزء بهترین ژنوتیپ‌ها نبود. با توجه به دو شاخص MP و GMP، جمعیت A82 بیشترین مقدار این شاخص‌ها را دارا بود، ولی این ژنوتیپ از نظر شاخص تحمل (TOL) در گروه متوسط قرار داشت. شاخص تحمل به تنش (STI) ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که در هر دو محیط تنش و بدون تنش، عملکرد بالایی دارند. بنابراین بهترین

شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص STI می‌باشد [۱۵]. براساس شاخص STI که مقادیر زیاد آن نشان‌دهنده تحمل ژنوتیپ‌ها است، ژنوتیپ A82 که حاصل تلاقی بین‌گونه‌ای می‌باشد در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های تجاری مورد بررسی در این مطالعه غیر از گلدشت، متحمل‌ترین ژنوتیپ بود. براساس دو شاخص GMP و STI ژنوتیپ A82 در رتبه دوم قرار گرفت و ژنوتیپ‌های Ac-stirling، C111، گلدشت و کوسه به‌ترتیب در رتبه‌های سوم، چهارم، اول و پنجم قرار گرفتند. ملکی‌نژاد و همکاران [۸] در مطالعه غربالگری ژرم‌پلاسم داخلی و خارجی گلرنگ اظهار داشتند که شاخص‌های GMP و STI به‌خوبی توانستند ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عدم تنش و تنش خشکی عملکرد بالایی داشته باشند را شناسایی کنند. همچنین در مطالعه دیگری روی گلرنگ مشخص شد که شاخص‌های GMP و STI ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و عدم تنش عملکرد بالایی داشتند را شناسایی نمودند [۶].

با توجه به این‌که تلاقی بین‌گونه‌ای که برای ایجاد ژنوتیپ A82 صورت‌گرفته در منطقه اصفهان بود ممکن است دور از انتظار نباشد که به شرایط محیطی منطقه سازگار باشد و عملکرد بیشتری در هر دو شرایط نرمال و تنش داشته باشد، با این وجود ژنوتیپ A82 در مقایسه با ژنوتیپ‌های کوسه و C_{111} که منشأ آن‌ها نیز اصفهان می‌باشد و می‌توانند متحمل به خشکی باشند، متحمل‌تر است. احتمالاً علت این مطلب این است که ژنوتیپ A82 دارای پوسته بذر مشکی می‌باشد و دارای ترکیبات فلاونوئیدی بیشتری است که در شرایط تنش تولید می‌شود و مقاومت ژنوتیپ را بالاتر می‌برد.

ترسیم نمودار سه بعدی براساس شاخص‌ها

پس از تعیین بهترین شاخص‌های کمی تحمل به خشکی (STI، MP و GMP) جهت تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی از نمودار سه بعدی استفاده شد (شکل ۱). نمودار سه بعدی رابطه بین سه متغیر (YS)، (YP) و شاخص تحمل به خشکی (STI) را نشان می‌دهد. با توجه به این سه معیار، ژنوتیپ‌ها به چهارگروه A و B و C و D تقسیم شدند [۱۵]:

۱. گروه A- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و عدم تنش.
۲. گروه B- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در محیط بدون تنش.
۳. گروه C- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در محیط تنش.
۴. گروه D- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در هر دو محیط تنش و عدم تنش.

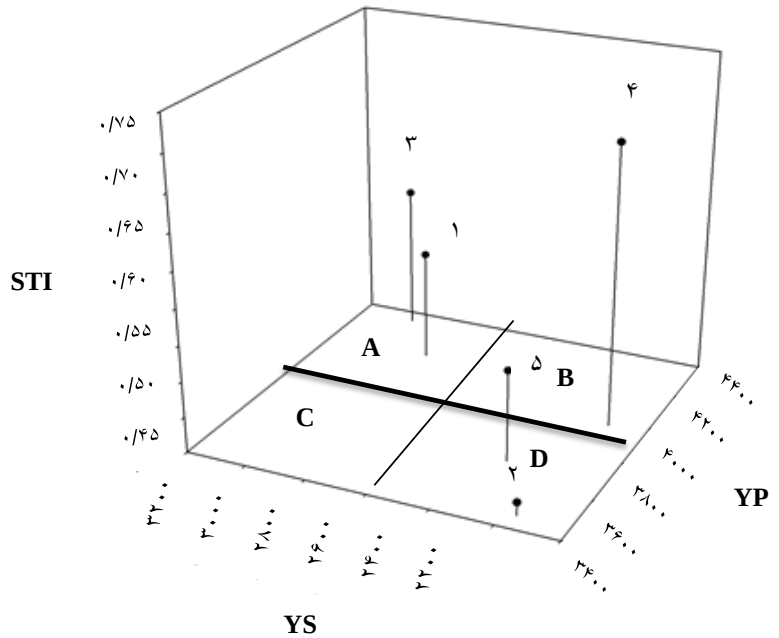
جدول ۴. میانگین شاخص در هر ژنوتیپ و رتبه هر ژنوتیپ براساس شاخص‌ها

شاخص / ژنوتیپ	TOL		SSI		MP		STI		GMP		YP		YS	
	میانگین	رتبه	میانگین	رتبه	میانگین	رتبه	میانگین	رتبه	میانگین	رتبه	میانگین	رتبه	میانگین	رتبه
A82	۱۰۹۱/۶	۳	۰/۶۷۳	۳	۳۶۴۸/۷	۲	۰/۶۶	۲	۳۶۲۶/۲	۲	۳۱۸۴/۷	۲	۲۲۱۸/۳	۲
کوسه	۹۴۵/۶	۱	۰/۳۲۸	۱	۲۶۳۳/۸	۵	۰/۴۴	۵	۲۶۲۴/۲	۵	۲۸۰۵/۳	۵	۲۱۱۷/۸	۵
گلدشت	۱۶۴۶/۲	۴	۰/۶۷۵	۴	۳۸۱۷/۹	۱	۰/۷۰	۱	۳۷۶۸/۶	۱	۳۶۸۳/۲	۱	۲۸۸۰/۸	۱
C_{111}	۱۰۲۹/۱	۲	۰/۵۵۴	۲	۲۹۲۷/۹	۴	۰/۵۴	۳	۲۸۶۶/۲	۴	۳۰۲۴/۵	۴	۲۱۹۵/۵	۳
AC-stirling	۱۴۳۲/۲	۵	۰/۷۹۷	۵	۳۵۸۰/۴	۳	۰/۵۳	۴	۳۵۵۲/۶	۳	۳۰۶۸	۳	۲۱۵۹/۲	۴

مناسب‌ترین شاخص انتخاب برای تحمل، شاخصی است که قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها باشد [۱۵]. نظر به اینکه شاخص STI به‌عنوان شاخص مناسب برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها معرفی شده است، لذا از نمودار سه بعدی این شاخص استفاده شد. برطبق این نمودار، جمعیت حاصل از تلاقی بین گونه‌ای A82 و ژنوتیپ گلدشت به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و با عملکرد بالا تشخیص داده شدند و در ناحیه A قرار گرفتند یعنی ضمن داشتن عملکرد زیاد در شرایط عدم تنش؛ این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد به نسبت خوب و قابل‌قبولی در شرایط تنش بودند، از این‌رو جمعیت A82 برای اصلاح در شرایط خشکی مناسب است و ژنوتیپ‌های Ac-Stirling و کوسه که جزء ژنوتیپ‌های تجاری هستند در مقایسه با جمعیت حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای A82 در ناحیه با عملکرد کم در شرایط تنش و عدم تنش و STI پایین قرار گرفته‌اند (ناحیه D)، لذا به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به خشکی در نظر گرفته شدند. رقم C_{111} در ناحیه B قرار دارد و این ژنوتیپ فقط در شرایط عدم تنش عملکرد زیاد دارد. سایر مطالعات نیز برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها از نمودارهای سه بعدی استفاده کرده‌اند و این روش مورد تأیید قرار گرفته است [۵ و ۱۹].

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای پلات

در این مطالعه از تجزیه بای‌پلات به‌منظور بررسی همزمان کلیه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و عملکرد دانه در هر دو محیط عدم تنش و تنش خشکی استفاده شد. به این منظور ابتدا تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صورت گرفت و سپس با ترسیم مؤلفه اول و دوم که روی هم‌رفته ۹۱ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند بای‌پلات موردنظر ترسیم گردید. سهم مؤلفه اول در تبیین تغییرات کل شاخص‌ها برابر با ۶۴ درصد بود (جدول ۵).



شکل ۳. نمودار سه بعدی براساس شاخص STI و عملکرد تحت دو محیط تنش و عدم تنش در ژنوتیپ مختلف گلرنگ.

ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب شماره: ۱- A82، ۲- کوسه، ۳- گلدشت، ۴-C_{111}، ۵- Ac-Striling

شاخص‌های YS و YP و GMP و MP و STI بیشترین ضرایب را در مؤلفه اول به خود اختصاص دادند و این مؤلفه به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد (تولید) و تحمل به تنش خشکی معرفی گردید. به‌عبارت دیگر مؤلفه اول قادر به شناسایی و تمایز ژنوتیپ‌ها از یکدیگر می‌باشد و ژنوتیپ‌های پر عملکرد را از ژنوتیپ‌های کم‌عملکرد براساس شاخص‌های تحمل خشکی جدا می نماید. مؤلفه دوم ۲۴ درصد از تغییرات کل شاخص‌ها را توجیه نمود و با عملکرد در شرایط تنش (YS) همبستگی منفی نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که ژنوتیپ Ac-Stirling در نزدیکی بردارهای دو شاخص SSI و TOL قرار دارد که نشان‌دهنده حساسیت این ژنوتیپ به خشکی است (جدول ۵). بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان مؤلفه حساسیت به تنش نامید. انتخاب براساس مقادیر بیشتر این مؤلفه، موجب گزینش ژنوتیپ‌های حساس‌تر به تنش می‌شود. در یک مطالعه در ارزیابی ژنوتیپ‌های گلرنگ *C. tinctorius* پاییزه برای تحمل به خشکی در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس شاخص‌های مقاومت به تنش، دو مؤلفه اصلی اول ۹۶/۹ درصد از کل تنوع را توجیه کردند که در مؤلفه اول شاخص‌های YP، YS، STI، MP وGMP بیشترین مقدار را نشان دادند که بیان‌کننده تحمل بیشتر به تنش بوده است و در مؤلفه اصلی دوم شاخص‌های TOL و SSI دارای بیشترین مقدار بودند که نشان‌دهنده آن است که مؤلفه دوم ارقام حساس به تنش اما دارای عملکرد بالا در شرایط مناسب را متمایز می‌کند [۴].

همان‌طورکه در شکل ۱ مشاهده می‌شود، جمعیت A82 و ژنوتیپ گلدشت در سمت راست، در نزدیکی بردارهای مربوط به شاخص‌های STI و GMP و MP که بهترین شاخص‌های شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناخته شدند، قرار گرفته است که در واقع همان ناحیه مربوط به ژنوتیپ‌های با مؤلفه اول بالا (پتانسیل عملکرد بالا) و حساسیت کمتر به تنش است. توده کوسه در سمت چپ و گوشه پایین قرار دارد که این ژنوتیپ دارای پتانسیل عملکرد کم و حساسیت کم نسبت به خشکی است. ژنوتیپ AC-Stirling در ناحیه بالا سمت چپ قرار دارد که نشان‌دهنده پتانسیل عملکرد کم و حساسیت بالا در هر دو محیط بوده است. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان بیان کرد که افزایش مؤلفه اول و کاهش مؤلفه دوم به شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل با پتانسیل عملکرد زیاد در هر دو محیط تنش و عدم تنش منجر می‌شود. در نتیجه جمعیت A82 به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی شناخته شد. این ژنوتیپ دارای پوسته بذر مشکی می‌باشد و با توجه به این‌که در پوسته آن ترکیبات فلاونوئیدی زیاد است احتمالاً این ترکیبات در شرایط تنش افزایش می‌یابند و باعث ایجاد مقاومت به تنش‌ها از جمله تنش خشکی می‌گردد. در گندم مشخص شد که ترکیبات فلاونوئیدی نقش محافظتی برای گیاه دارند و وقتی گیاه در شرایط تنش قرار می‌گیرد میزان این ترکیبات افزایش می‌یابد [۱۳]. تجمع فلاونوئید ها در سایر گیاهان نیز در شرایط تنش خشکی افزایش نشان داده است [۲۵ و ۱۷]. بر خلاف ژنوتیپ A82، ژنوتیپ C111 که والد مادری ژنوتیپ A82 بود (شکل ۲)، در هر دو محیط عملکرد پایینی داشت ولی حساسیت کمی هم به تنش نشان داد.

با توجه به زوایای خطوطی که شاخص‌ها را نمایش می‌دهند (شکل ۳)، ملاحظه می‌شود که در شرایط تنش شاخص SSI و TOL همبستگی منفی با عملکرد دانه دارند ولی شاخص‌های STI، GMP و MP همبستگی مثبت بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط داشتند و این شاخص‌های اخیر به‌عنوان بهترین شاخص‌های انتخاب قابل معرفی هستند. در گیاه لوبیا در شرایط تنش متوسط، مؤلفه اول ۶۹ درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌ها را

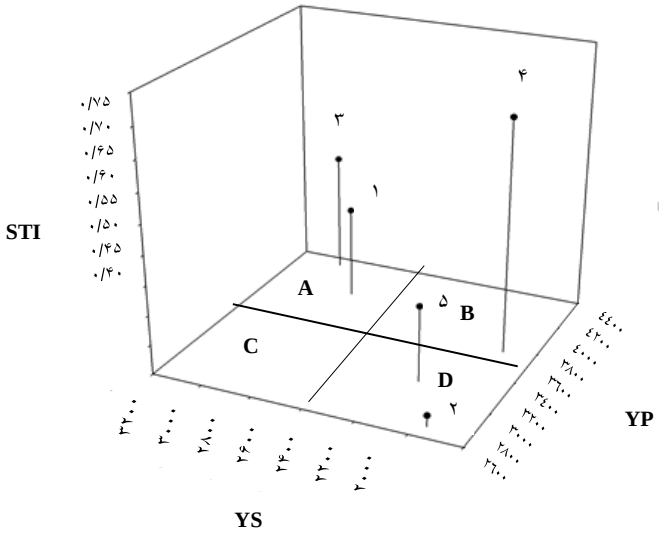
توجیه نمود و در این مؤلفه YP، MP و STI بیشترین نقش را داشتند، بنابراین این مؤلفه به مؤلفه پتانسیل و مؤلفه دوم که ۳۰ درصد از تغییرات موجود را توجیه نموده بود و در آن شاخص SSI، TOL و YS بیشترین نقش را داشتند، به نام مؤلفه تحمل به تنش نام گذاری شد [۱۵].

ژنوتیپ A82 ژنوتیپ C_{111}

شکل ۲. ژنوتیپ A82 و والد مادری آن ژنوتیپ C_{111}

جدول ۵. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش ژنوتیپ‌های گلرنگ

مؤلفه‌ها	مقادیر ویژه	واریانس توجیه‌شده	واریانس تجمعی	ضرایب شاخص‌ها						
				YS	YP	TOL	MP	GMP	SSI	STI
مؤلفه اول	۴/۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۴۲	۰/۴۲	−۰/۰۷	۰/۴۲	۰/۴۵	−۰/۱۱	۰/۴۵
مؤلفه دوم	۱/۷	۰/۲۴	۰/۹۲	−۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۶۸	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۶۴	۰/۰۳



شکل ۳. بای‌پلات براساس شاخص‌های تحمل و حساسیت خشکی

TOL- شاخص تحمل، MP- شاخص میانگین تولید، Y_P و Y_S- به‌ترتیب عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و عدم تنش، GMP- شاخص میانگین هندسی عملکرد، SSI- شاخص حساسیت، STI- شاخص تحمل به تنش.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ برآمده از تلاقی بین‌گونه‌ای بین دو گونه گلرنگ اهلی *C. tinctorius* (ژنوتیپ C_{111}) و گلرنگ وحشی *C. oxyacanthus* (ژنوتیپ Isfahan II) با نام A82 دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و غیر تنش در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها از جمله ژنوتیپ مادری (گونه C_{111}) بود و همچنین از لحاظ تحمل به تنش خشکی دارای تفاوت معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها غیر از گلدشت بود. به‌نظر می‌رسد که شاخص STI، شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ برتر می‌باشد، زیرا ژنوتیپ A82 و ژنوتیپ گلدشت با عملکرد بالا در هر دو شرایط براساس این شاخص به‌عنوان بهترین ژنوتیپ معرفی شدند. این ژنوتیپ‌ها ضمن داشتن بیشترین عملکرد دانه و شاخص تحمل به تنش (STI)، دارای بیشترین میانگین بهره‌وری هندسی (GMP) و متوسط بهره‌وری نیز بودند. نتایج مقایسه میانگین، مؤلفه‌های اصلی و بررسی نمودار سه بعدی این مطلب را تأیید نمود. این مطلب نشان می‌دهد که احتمالاً ژن‌های مقاومت گونه وحشی *C. oxyacanthus* به گونه زراعی از طریق تلاقی منتقل شده است. همچنین احتمالاً رنگ پوسته مشکی ژنوتیپ A82 که از گونه وحشی انتقال یافته است به‌دلیل داشتن ترکیبات فلاونوئیدی در مقاومت به خشکی مؤثر است که این ترکیبات در شرایط تنش افزایش می‌یابند و باعث ایجاد مقاومت به تنش‌ها از جمله تنش خشکی می‌گردد. تاکنون مطالعه روی تحمل به خشکی ژنوتیپ حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای صورت نگرفته بود ولی نتایج این پژوهش نشان داد که ژنوتیپ حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای برتری قابل‌توجهی نسبت به ارقام تجاری موجود دارد و می‌تواند ژنوتیپ امیدبخش تحقیقات اصلاحی آینده باشد.

منابع

۱. اداره کل پنبه، دانه‌های روغنی و گیاهان صنعتی. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی. دستورالعمل کشت دانه‌های روغنی (گلرنگ)- سال زراعی ۹۴-۹۵.

۲. سبزعلیان م ر (۱۳۸۷) مطالعه هیبرید بین‌گونه‌ای گلرنگ زراعی با گلرنگ وحشی و تأثیر رنگ بذر بر صفات زراعی، کیفیت دانه و میزان خسارت مگس گلرنگ. دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان. رساله دکتری.

۳. شیراوند ر و مجیدی م م (۱۳۹۲) مقایسه گونه‌های وحشی و اهلی گلرنگ از نظر تحمل به خشکی و تنوعات صفات مورفولوژیک و زراعی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲: ۷۳۸-۷۵۰.

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

۵. مجیدی م م.، جعفرزاده م. رشیدی ف. و میرلوحی آف (۱۳۹۳) شناسایی ارقام کلزا با شاخص‌های تحمل به خشکی. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴: ۵۶۵- ۵۷۳.

۶. محسنی و (۱۳۹۳) توارث‌پذیری و ارتباط صفات در جوامع F_2 حاصل از تلاقی بین سه گونه گلرنگ تحت شرایط عادی و تنش خشکی. دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

۷. مصطفایی ف.، میرلوحی آف. سعیدی ق. سبزعلیان م ر. و قیصری م (۱۳۹۳) ارزیابی تنوع و تحمل به خشکی در نسل F_3 حاصل از تلاقی بین‌گونه‌ای گلرنگ اهلی (*Carthamus tinctorius* L.) و وحشی (*C. oxyacanthus* L.). علوم گیاهان زراعی ایران. ۱۶ (۳): ۱۸۰- ۱۶۵.

۸. ملکی‌نژاد ر (۱۳۹۲) غربال ژرم پلاسم داخلی و خارجی گلرنگ برای تحمل به تنش خشکی. دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات.

9. Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M (1998) Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage. Paper 56. Rome. Italy. 300 pp. 7-136.
10. Ash GJ, Raman R and Crump NS (2003) An investigation of genetic variation in *Carthamus lanatus* in New South Wales. Australia. Using intersimple sequence repeats (ISSR) analysis. Weed Research. 43: 208-213.
11. Dencic S, Kastori R and Kobiljski B (2000) Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. Euphytica. 113: 43-52.
12. Blum A (2012) Plant Breeding for water-limited environments. Springer. PP. 2-57.
13. Dongyun M, Sun D, Wang Ch, Li Y and Tiancai G (2014) Expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of flavonoid in wheat leaves in response to drought stress. Plant Physiology and Biochemistry. 80: 60-66.
14. Ebrahimiyan M, Majidi MM, Mirlohi A and Noroozi A (2013) Physiological traits related to drought tolerance in *tall fescue*. Euphytica. 190: 401-414.
15. Fernandez G CJ (1992) Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of the international symposium "adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress, AVRDC Publication. Tainan, Taiwan, PP. 257-270.
16. Fischer RA and Maurer R (1978) Drought resistance in spring *wheat* cultivars. Drought resistance in spring *wheat* cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research. 29: 897-912.
17. Liu ML, Li XR, Liu YB and Cao B (2013) Regulation of flavanone 3-hydroxylase gene involved in the flavonoid biosynthesis pathway in response to UV-B radiation and drought stress in the desert plant, *Reaumuria soongorica*. Plant Physiology and Biochemistry. 73: 161-167.
18. Majidi M.M, Tavakoli V, Mirlohi A and Sabzalian MR (2011) Wild *safflower* species (*'Carthamus oxyacanthus' Bieb.):* A possible source of drought tolerance for arid environments. Australian Journal of Crop Science. 5: 1055-1066.
19. Malekshahi F, Dehghani H and Alizadeh B (2009) Evaluation of drought tolerance index in some winter rapeseed cultivars *(Brassica napus* L.). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 13, 77-89.
20. Ramirez-Vallejo, P and Kelly JD (1998) Traits related to drought resistance in common *bean*. Euphytica. 99: 127-126.
21. Rosielle AA and Hamblin J (1981) Theoretical aspects of selections for yield in stress and non-stress environments. Crop Science. 21: 943-946.
22. Singh SP (2002) Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. Crop Science. 42: 64–70.
23. Sio-se Marde A, Ahmadi A, Poustini K and Mohammady V (2006). Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crop Research. 98: 222-229.
24. Yau SK (2006) Winter versus spring sowing of rain–fed *safflower* in a semi-arid, high–elevation Mediterranean environment. European Journal of Agronomy. 10: 1-8.
25. Yuan Y, Liu YJ, Wu C, Chen SQ,Wang ZY, Yang ZC, Qin SS and Huang LQ (2012) Water deficit affected flavonoid accumulation by regulating hormone metabolism in *Scutellaria baicalensis* georgi roots. Plos One. 7: 1-9.

Breeding of Agronomic and Horticultural Crop
(Journal of Agriculture, University of Tehran)

Vol. 4 ■ No. 1 ■ Spring & Summer 2016

Evaluation of drought tolerance in an interspecific hybrid and some genotypes of safflower using drought resistance indices

Sareh Ghasemi[1], Mohammad Reza Sabzalian[2*], Mohammad Hossein Ehtemam[3], Ghodratollah Saeidi[4]

1. M. Sc. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Collage of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
2. Associate Professor, Genetics and Plant Breeding, Department of Agronomy and Plant Breeding, Collage of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Collage of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
4. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Collage of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.

Received: October 5, 2016 Accepted: March 17, 2019

Abstract

This study was performed in order to evaluate the drought tolerance of some safflower genotypes in a field experiment carried out at the research farm of Isfahan University of Technology located at Lavark, Najaf-Abad, Iran (40 km south west of Isfahan, 32º 32´ N, 51º 23´ E, 1630 m asl). In this study, five genotypes including A82) interspecific hybrid), landrace Kooseh, Goldasht, C_{111} and Ac-stirling were evaluated in a randomized complete block design with three replications at two moisture levels (normal and 90% water-depletion), separately. Seven drought tolerance indices including Stress Tolerance Index (STI), Tolerance Index (TOL), Stress Susceptibility index (SSI), Mean Productivity (MP), Geometric Mean Productivity (GMP), seed yield in stress (Ys) and non-stress (Yp) environments were calculated for each genotype based on seed yield under stress and normal conditions. The results of analysis of variance showed that there were significant differences among the genotypes for all traits. The drought stress had significant effect on head diameter, number of heads per plant, number of seeds per head, seed weight per head and seed yield. Mean comparisons showed that control genotypes were significantly different for all studied traits except seed weight per and seed yield traits with the genotype A82 under non stress and stress conditions. Principal component analysis (PCA), indicated that the first and second components justified 91% of variations between drought tolerance indices. First vector showed 67% of the variations and was recognized as yield potential component and drought tolerance indices (MP, GMP, STI) and the second vector justified 24% of total variations which would be named as "drought susceptible components (TOL and SSI indices). Biplot analysis also indicated that STI, MP, GMP were more reliable indices to identify drought tolerant safflower genotypes and discriminated Goldasht genotype and genotype A82 as the most drought tolerant. The indices STI, GMP, MP identified the Goldasht and A82 genotype as drought resistant genotypes and A82 was obtained from interspecific crosses between cultivated safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and wild species (*C. oxyacanthus*). This genotype had the highest grain yield under stress and non-stress conditions. Therefore, it could be used in safflower breeding programs to improve drought tolerance.

Keywords: Drought stress, safflower, seed yield, tolerance indices.

Corresponding author: sabzalian@cc.iut.ac.ir