ارزیابی سه گونه گلرنگ و نتاج F_2 حاصل از تلاقی آنها از نظر تحمل به خشکی گیاهچه براساس تجزیه بای پلات

رضا شیراوند، محمد مهدی مجیدی* و فرشته اقبالی بابادی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۱)

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی در کاهش رشد، توسعه و تولید گیاهان است. جوانه‌زنی و رشد گیاهچه یکی از مراحل اصلی زندگی گیاه است که تحمل به خشکی در این مرحله شرط ادامه سایر مراحل به ویژه در کشت دیم است. در این زمینه تنوع ژنتیکی کافی در گونه زراعی گلرنگ محدود بوده و به نظر می‌رسد بتوان از پتانسیل گونه‌های وحشی سود جست. در این مطالعه، تحمل به خشکی سه گونه گلرنگ و هیبریدهای مستقیم و متقابل (شش هیبرید) حاصل از آنها تحت چهار سطح از پتانسیل اسمزی (۰، ۵-، ۱۰- و ۱۵- مگاپاسکال) توسط پلی اتیلن گلیکول با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش سطوح تنش خشکی صفات درصد جوانه‌زنی، طول و وزن خشک برای صفات ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در گونه اهلی *Carthamus tinctorius* (Ct) نسبت به گونه‌های وحشی *C. palaestinus* (Cp)، *C. oxyacanthus* (Co) و نتاج حاصل از تلاقی آنها کاهش بیشتری یافت که این موضوع می‌تواند بیانگر مقاومت بیشتر گونه‌های وحشی نسبت به گونه اهلی باشد. نتایج حاصل از شاخص‌های درصد کاهش، TOL و STI نیز بیان کننده مقاومت بیشتر گونه‌های وحشی و نتاج حاصل از تلاقی آنها نسبت به گونه‌های اهلی بود. تجزیه بای پلات براساس مؤلفه‌های اصلی نشان داد که گونه *C. tinctorius* حساس‌ترین و نتاج حاصل از تلاقی دو گونه وحشی(Cpo و Cop) متحمل‌ترین به تنش خشکی بودند که می‌تواند ناشی از هتروزیس حاصل از تلاقی دو گونه باشد. نمودار سه‌بعدی والدین و نتاج حاصل از تلاقی آنها براساس شاخص STI برای صفت درصد جوانه‌زنی نشان داد که نتاج F_2 حاصل از تلاقی گونه اهلی با دو گونه وحشی (Ctp و Cto) دارای تحمل به خشکی بالا در هر دو شرایط تنش و عدم تنش می‌باشند که می‌توانند پس از مطالعات بیشتر در برنامه‌های پیشرفته به‌نژادی برای اصلاح و ایجاد ارقام متحمل به خشکی استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: خشکی، گلرنگ وحشی، تلاقی بین گونه‌ای و گیاهچه

۱. گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majidi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

گلرنگ از گیاهان دانه روغنی و یک ساله است که در مناطق گرم و اقلیم‌های خشک سازگاری دارد (۶). اهمیت گلرنگ عمدتاً به خاطر روغن آن است ولی بذرهای گلرنگ منبع غنی از مواد معدنی نظیر (Mn،Cu،Zn و Fe)، ویتامین‌ها (تیامین و بتاکاروتن) و توکروفول (آلفا، بتا وگاما) نیز می‌باشد (۲۰). بیشترین تنوع ژنتیکی یک گونه ی گیاهی را می‌توان در نژادهای بومی و همینطور در گونه های وحشی و خویشاوند آن مشاهده کرد (۷). گونه‌های وحشی (خزانه ثانویه) به عنوان منبع مهم از ژن‌های مطلوب برای بهبود بسیاری از صفات مهم نظیر ژن‌های مقاومت به آفات و بیماری‌های گوناگون، افزایش تحمل نسبت به خشکی، شوری، بهبود کیفیت روغن و حتی افزایش عملکرد محسوب می‌شوند (۳۳ و۳۴). از این رو اهمیت گونه‌های وحشی در اصلاح نباتات بالا است زیرا شرط اصلی برای دستیابی به یک هیبرید مقاوم به خشکی وجود یک یا دو والد مقاوم به خشکی است (۱۶). از تلاقی گونه وحشی و اهلی می‌توان به منظور افزایش تنوع ژنتیکی، انتقال سازگاری تکاملی و ایجاد گونه‌های جدید استفاده کرد (۳۱). با توجه به تلاقی‌پذیری دو گونه وحشی گلرنگ *C. palaestinus* و *C. oxyacanthus* با گونه اهلی گلرنگ می‌توان نسبت به انتقال ژن‌های مقاومت به خشکی و دیگر صفات مفید از ژنوم گونه‌های وحشی به اهلی اقدام نمود (۳).

خشکی از تنش‌های مهم در کاهش رشد و تولید گلرنگ است، به‌طوری‌که کلیه مراحل از جمله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه را متأثر می‌سازد (۲۹). میزان مقاومت به خشکی گلرنگ در شرایط مزرعه با استفاده از کنترل دوره و میزان آبیاری مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۱و ۲۸) با توجه به این‌که در چنین شرایطی عوامل دیگر نظیر شرایط اقلیمی و پدیده‌های جوی می تواند بر داده‌ها تأثیر بگذارد استفاده از شرایط محیطی کنترل شده این امکان را فراهم می‌سازد که عوامل دارای اثرات ناخواسته را حذف و منابع تغییر را به عوامل تحت کنترل محدود کند. کاربرد ترکیباتی چون پلی اتیلن گلیکول (PEG) به دلیل ایجاد محلول اسمزی مشابه با شرایط مزرعه تا حد امکان می‌تواند ساز و کاری مشابه تنش‌های طبیعی داشته باشد و اغلب برای تهیه پتانسیل آب در مطالعات جوانه‌زنی و بررسی تحمل به خشکی در محیط کنترل شده (آزمایشگاهی) استفاده می‌شود (۱۵). دیومن (۸) گزارش کرد که تنش خشکی درصد جوانه‌زنی، طول ریشه و طول ساقه چه را در گیاه کاهش می‌دهد. استرس ناشی از تنش آب در گیاه باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌شود که این موضوع توسط غلامین و خیاط نژاد (۱۳) در گندم، مصطفوی (۲۴) در گلرنگ و هم‌چنین فارسیانی و قبادی (۱۰) در ذرت گزارش شد. تاکنون مطالعه‌ای در زمینه مقایسه گلرنگ اهلی با نزدیک‌ترین خویشاوندان وحشی آن (*C. palaestinus* و *C. oxyacanthus*) و مطالعه وضعیت تحمل نسل‌های در حال تفرق صورت نگرفته است. براین اساس این مطالعه با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی گونه اهلی، دو گونه وحشی خویشاوند و نتاج F_2 حاصل از تمام تلاقی‌هایی ممکن بین این گونه‌ها (تلاقی‌های مستقیم و معکوس) انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۰ در دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. گونه‌های مورد بررسی شامل *C. palaestinus*،*C. tinctorius* و *C. oxyacanthus* بود. این سه گونه به روش نولز (۱۹) مورد تلاقی مستقیم و معکوس قرار گرفتند و بذرهای F_2 حاصل از خودگشنی بوته‌های F_1 تهیه شدند (جدول ۱). به منظور تعیین سطوح تنش خشکی برای آزمایش اصلی یک آزمایش مقدماتی با ۸ تیمار تنش خشکی در سطوح شاهد، ۴-، ۶-، ۸- ، ۱۰-، ۱۲-، ۱۶- و ۱۸- در آزمایشگاه در ژرمیناتور در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد طراحی شد. براساس نتایج آزمایش مقدماتی تیمارهای آزمایش اصلی به صورت پتانسیل اسمزی شاهد، ۵-، ۱۰- و ۱۵- مگاپاسکال تعیین شد. آزمایش اصلی به صورت یک آزمایش فاکتوریل دو فاکتوره در ۳ تکرار و قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد به‌طوری‌که فاکتور اول

جدول ۱. علایم اختصاری برای نشان دادن نتاج F_2 حاصل از تلاقی‌سه گونه گلرنگ (Ct، Cp، Co)

نتاج F_2	والد پدری	والد مادری
Ctp	*C. palaestinus*	*C. tinctorius*
Cpt	*C. tinctorius*	*C. palaestinus*
Cto	*C. oxyacanthus*	*C. tinctorius*
Cot	*C. tinctorius*	*C. oxyacanthus*
Cpo	*C. oxyacanthus*	*C. palaestinus*
Cop	*C. palaestinus*	*C. oxyacanthus*

ژنوتیپ‌ها (۳والد و ۶ نتاج F_2 در مجموع ۹ سطح) و فاکتور دوم شامل ۴ سطح تنش خشکی (شامل صفر ، ۵-، ۱۰- و ۱۵- مگا پاسکال) بود. برای انجام آزمایش از بذرهای سالم با قوه نامیه بالا استفاده شد. ابتدا بذور ژنوتیپ‌ها با قارچ‌کش تیرام ضد عفونی شدند و داخل هر پتری دیش گذاشته شد. برای ارزیابی مقاومت به خشکی گیاه گلرنگ از محلول پلی اتیلن گلیکول (۶۰۰۰) که توسط فرمول کافمن و اکارد (۱۷) تهیه شده بود استفاده گردید (رابطه ۱).

$$\psi_s = -(۱/۱۸\times۱۰^{-۲})C-(۱/۱۸\times۱۰^{-۴})C^۲ +(۲/۶۷\times۱۰^{-۴})CT+(۸/۳۹\times۱۰^{-۷})C^۲T \quad [۱]$$

که در رابطه فوق، C میزان PEG لازم بر حسب کیلوگرم در لیتر آب، Tدمای محیط (۲۵درجه سانتی گراد) و ψ_s فشار اسمزی مورد نظر بر حسب مگاپاسکال می‌باشد. به منظور جلوگیری از تغییر پتانسیل در اثر تبخیر آب، ظروف پتری دیش وزن شد و به آنها آب مقطر اضافه گردید. پتری دیش‌ها به ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد منتقل شد و بعد از ۲۴ ساعت، شمارش بذرهای جوانه زده آغاز گردید، بذرهایی مورد شمارش قرار گرفتند که حداقل طول ریشه‌چه آنها سه میلی‌متر بود. این عمل به مدت ۱۰ روز در ساعت معیین انجام شد، در انتهای آزمایش به طور تصادفی از هر پتری دیش ۱۰ گیاهچه انتخاب و طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)، طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) و طول گیاه‌چه (سانتی‌متر) و هم‌چنین وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم)، ریشه‌چه (میلی‌گرم) و گیاه‌چه (میلی‌گرم) آنها اندازه‌گیری شد. سپس صفات سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی از روابط زیر محاسبه گردید.

رابطه ۲ درصد جوانه زنی(PGs):

$$PGs = (K/N)\times۱۰۰ \quad [۲]$$

رابطه ۳ سرعت جوانه زنی(PGs):

$$RGs = (Ni/Di)\times۱۰۰ \quad [۳]$$

در روابط فوق، N تعداد بذر جوانه زده در آخرین شمارش، K تعداد کل بذرهای کشت شده در هر پتری، N_i تعداد بذر جوانه زده در روز i ام و D_i تعداد روز از شروع آزمایش تا روز شمارش بذر جوانه زده می‌باشند.

رابطه ۴ کاهش درصد جوانه زنی(RGPI):

$$RGPI = \left[(Yp-Ys)/Yp\right]\times۱۰۰ \quad [۴]$$

در رابطه ۴، Y_p پتانسیل یک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و Ys پتانسیل یک ژنوتیپ در شرایط تنش می‌باشد. شاخص‌های مورد مطالعه با استفاده از داده‌های تیمار شاهد (صفر بار) و تیمارهای تنش خشکی (۵-، ۱۰- و ۱۵- بار) به شرح زیر محاسبه شدند. در این پژوهش هم‌چنین شاخص تحمل (Tolerance index)(TOL) پیشنهادی توسط رزیل و هامبلین (۳۲) برای صفت درصد جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه به صورت زیر محاسبه شد:

$$TOL = (Yp-Ys) \quad [۵]$$

مقادیر زیاد TOL بیان‌کننده حساسیت بیشتر به تنش است.

بنابراین هرچه این شاخص کوچک‌تر باشد حساسیت به خشکی ژنوتیپ کمتر بوده و مطلوبتر است. گزینش بر اساس این شاخص سبب انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که تحت شرایط بدون تنش عملکرد پایین ولی در شرایط تنش عملکرد بالقوه بالایی دارند (۳۲).

شاخص تحمل به تنش (STI) (Stress tolerance index) پیشنهادی فرناندز (۱۱) مطابق فرمول زیر نیز اندازه‌گیری شد این شاخص قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در دو محیط تنش و بدون تنش از سایر ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

$$STI = \frac{(Yp \times Ys)}{(Y_{mp})^2} \qquad [۶]$$

که در رابطه ۶ Y_{mp}، میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش، Y_p پتانسیل یک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و Y_s پتانسیل یک ژنوتیپ در شرایط تنش می‌باشد. مقدار بالاتر شاخص STI برای یک ژنوتیپ نمایانگر تحمل به تنش بالاتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ است. شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI) (Germination stress index) از رابطه زیر محاسبه شد.

$$GSI(\%) = \frac{(PIp)^{100}}{PIs} \qquad [۷]$$

در این رابطه، PI_P سرعت جوانه‌زنی در شرایط عدم تنش و PI_S سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش می باشد (۵). هم‌چنین شاخص نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه(Shoot/Root length ratio) (SRLR) و نسبت وزن ساقه‌چه به ریشه‌چه (Shoot/Root dry weight) (SRDWR) اندازه‌گیری شدند. تجزیه و تحلیل های آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به کمک نرم‌افزارهای SAS و SPSS، و داده‌پردازی و ترسیم نمودارها و جداول به کمک نرم‌افزار Excel انجام گرفت. برای ترسیم بای‌پلات از نرم‌افزار Stat Graphics و برای ترسیم پراکنش ژنوتیپ‌ها از نرم‌افزار Sigma Plot استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی نشان داد که برای اکثر صفات اثر ژنوتیپ (گونه‌ها و نتاج) معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر متقابل ژنوتیپ و محیط تنش برای همه صفات غیر از وزن خشک گیاهچه معنی‌دار بود که نشان می دهد گونه‌ها و نتاج حاصل از آن نسبت به سطوح مختلف پتانسیل آب اعمال شده، واکنش متفاوتی داشته‌اند. به‌طور کلی تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای بین گونه‌ها و نتاج آنها از نظر تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی وجود داشت (جدول ۲). اثر تنش خشکی بر همه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح تنش نشان داد که با افزایش سطوح تنش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و سایر پارمترهای اندازه‌گیری شده کاهش یافتند (جدول ۳). کاهش میزان صفات با افزایش سطوح تنش در مطالعات راد و کار (۳۰) در ماش و هم‌چنین بعلبکی و همکاران (۴) در گندم مشاهده شده است.

جدول ۴ مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها (سه گونه گلرنگ و نتاج حاصل از تلاقی آنها) در هر سطح تنش خشکی برای ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در سطح گیاهچه را نشان می‌دهد. در تیمار شاهد صفت درصد جوانه‌زنی گونه اهلی نسبت به گونه‌های وحشی و نتاج حاصل از تلاقی دارای برتری معنی‌داری بود و این روند عمدتاً در بقیه صفات مورد مطالعه نیز مشاهده شد. با افزایش سطوح تنش خشکی (سطوح تنش ۱۰- و ۱۵-) خصوصیات مربوط به جوانه‌زنی گونه اهلی کاهش بیشتری پیدا کرد و برتری به گونه های وحشی و نتاج آنها تعلق یافت. به عنوان مثال در سطوح تنش ۱۰- و ۱۵- میزان صفات طول و وزن خشک ریشه چه، ساقه چه و گیاهچه با کاهش روبرو گردید که این میزان کاهش برای گونه اهلی بیشتر از دو گونه *C. palaestinus* و *C. oxyacanthus* و نتاج حاصل از تلاقی بود (جدول ۴). نتاج Cpo و Cop حاصل از تلاقی دو والد وحشی در سطوح تنش ۱۰- و ۱۵- از نظر صفات درصد جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه چه، طول و وزن خشک ساقه چه و طول و وزن خشک گیاهچه کمترین مقدار کاهش را داشتند. هم‌چنین زمانی که والد وحشی به عنوان یکی از والدین در تلاقی با اهلی استفاده شد در نتاج حاصل کاهش کمتری از نظر مقدار صفات در اثر تنش

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر چهار سطح تنش خشکی بر ویژگی‌های جوانه زنی و رشد گیاهچه سه گونه گلرنگ و نتاج حاصل از تلاقی آ نها

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ریشه چه	طول ساقه‌چه	طول گیاهچه	وزن خشک ریشه چه	وزن خشک ساقه چه	وزن خشک گیاهچه
ژنوتیپ+	۸	۵۲/۹۱**	۱۲/۰۰**	۳/۵۸**	۴/۰۰**	۵/۲۱*	۳/۲۴**	۴/۳۲*	۵/۰۵^{ns}
تنش	۳	۱۳۴۴/۶۸**	۲۰۳۶/۱۷**	۵۰۸/۶۹**	۴۴۶/۰۸**	۶۸۰/۴۹**	۳۷۹/۴۶*	۹۴۵/۴۴**	۹۱۵/۸۰**
ژنوتیپ × تنش	۲۴	۴۲/۸۷**	۲/۰۹**	۳/۴۹**	۲/۲۰**	۳/۹۵**	۳/۳۱**	۲/۴۸**	۳/۶۷^{ns}
خطا	۷۲	۷/۳۷	۵/۴۵	۳/۱۸	۱/۶۹	۶/۷۴	۰/۴۸	۰/۷۲	۱/۷۲
درصد ضریب تغییرات		۴/۱۳	۱۵/۱۰	۲۰/۶۵	۲۵/۴۰	۱۸/۸۶	۱۷/۲۴	۱۷/۳۴	۱۷/۵۲

+ منظور از ۹ ژنوتیپ، سه والد (*C. tinctorius*، *C. palaestinus*، *C. oxyacanthus*) و نتاج F_2 حاصل از تلاقی مستقیم و معکوس آنه ا(۶ تلاقی) می‌باشد.

سطوح تنش خشکی براساس PEG (شاهد، ۵-، ۱۰-،۱۵- بار)

ns،** و* : به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین چهار سطح تنش خشکی برای صفات جوانه زنی و رشد گیاهچه سه گونه گلرنگ و نتاج حاصل از تلاقی آنها

سطوح تنش (بار)	درصد جوانه زنی	سرعت جوانه زنی	طول ریشه چه (میلی متر)	طول ساقه چه (میلی متر)	طول گیاهچه (میلی متر)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی گرم)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی گرم)	وزن خشک گیاهچه (میلی گرم)
شاهد	۸۳/۰۰ ^{a}	۴۵/۶۵ ^{a}	۱۶/۰۷ ^{a}	۱۰/۱۴^{a}	۲۶/۲۱ ^{a}	۵/۵۸ ^{a}	۹/۷۵ ^{a}	۱۵/۳۳ ^{a}
-5	۸۰/۲۲ ^{ab}	۸/۳۱ ^{b}	۱۴/۵۹ ^{b}	۹۱/۲۱ ^{b}	۲۳/۰۸^{b}	۳/۹۲ ^{b}	۸/۸۱ ^{b}	۱۲/۷۳ ^{b}
-10	۵۵/۶۶ ^{c}	۵/۴۸^{c}	۲/۲۲ ^{c}	۰/۷۸ ^{c}	۳/۰۱ ^{c}	۰/۶۷ ^{c}	۰/۹۰^{c}	۱/۵۷ ^{c}
-15	۴۳/۵۵ ^{d}	۲/۳۸ ^{d}	۱/۶۸ ^{c}	۰/۳۲^{c}	۲/۰۰ ^{c}	۰/۰۹ ^{d}	۰/۲۳^{d}	۰/۳۲ ^{d}

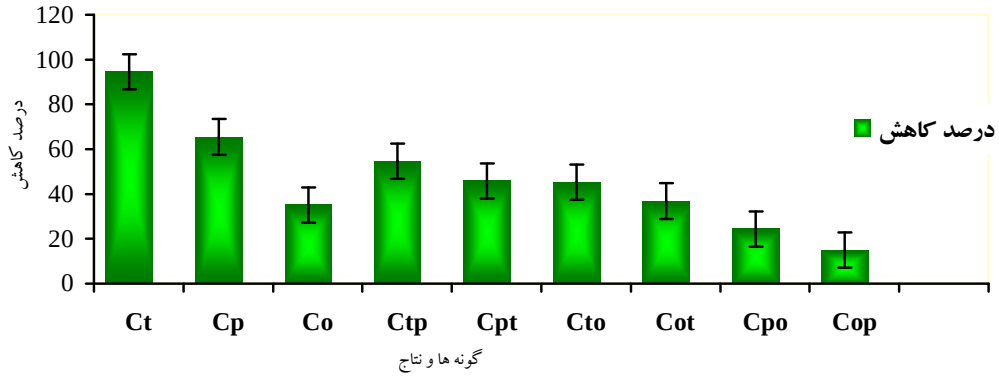
در هر ستون میانگین های دارای حروف غیر مشترک اختلاف آماری معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند

خشکی مشاهده گردید (جدول ۴). بیشترین میزان کاهش درصد جوانه‌زنی مربوط به گونه اهلی(*C. tinctorius*) و کمترین مقدار کاهش مربوط به نتاج COP (*C. oxyacanthus* × *C. palaestinus*) بود. درصد جوانه‌زنی در گونه‌های وحشی و نتاج حاصل از تلاقی نسبت به گونه اهلی کاهش کمتری داشت (شکل ۱) که بیانگر مقاومت به تنش خشکی در خویشاوندان وحشی گلرنگ است. برتری نتاج را نسبت به والدین می‌توان به هتروزیس و ترکیب ژن‌های والدین نسبت داد زیرا در این پژوهش تلاقی دو گونه وحشی مقاومت بیشتری نسبت به هر یک از گونه‌ها پیدا کرد. شواهدی وجود دارد که هتروزیس در هیبریدهای ذرت باعث مقاومت به خشکی نتاج این گیاه شد (۲). مطالعه روی هیبریدهای ذرت در شرایط تنش خشکی نشان داد که طول

جدول۴. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها (گونه‌ها و نتاج آنها) برای ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در هر سطح تنش خشکی

صفات	سطوح تنش (مگاپاسکال)	ژنوتیپ‌ها								
		Ct	Cp	Co	Ctp	Cpt	Cto	Cot	Cpo	Cop
درصد جوانه‌زنی (٪)	۰	۹۲/۰۰ a	۸۴/۰۰ b	۷۷/۳۳ c	۸۶/۰۰ b	۸۵/۰۰ b	۸۶/۰۰ b	۸۴/۰۰ b	۷۸/۰۰ c	۷۴/۶۶ c
	−۵	۸۲/۳۲ a	۷۸/۶۶ abc	۷۷/۳۳ abc	۸۱/۰۰ abc	۸۲/۰۰ ab	۸۳/۰۰ a	۸۰/۰۰ abc	۸۰/۶۷ abc	۷۷/۰۰ c
	−۱۰	۳۷/۰۰ g	۴۴/۰۰ f	۵۸/۰۰ cd	۵۲/۰۰ e	۵۷/۰۰ d	۵۸/۰۰ dc	۶۲/۰۰ bc	۶۵/۰۰ ab	۶۷/۶۶ a
	−۱۵	۵/۰۰ f	۲۹/۰۰ e	۵۰/۳۳ bc	۳۹/۰۰ d	۴۶/۰۰ c	۴۷/۰۰ c	۵۳/۰۰ b	۵۹/۰۰ a	۶۳/۶۶ a
سرعت جوانه‌زنی (تعداد / روز)	۰	۵۰/۰۰ a	۴۷/۸۳ ab	۴۶/۲۰ abc	۴۶/۶۰ abc	۴۷/۰۶ abc	۴۴/۹۰ abc	۴۲/۱۹ c	۴۳/۴۰ bc	۴۲/۶۶ bc
	−۵	۱۸/۴۰ a	۹/۸۸ b	۷/۳۳ bc	۷/۳۳ bc	۶/۶۳ bc	۷/۴۵ cb	۵/۱۹ c	۷/۲۸ bc	۵/۳۵ c
	−۱۰	۱۲/۶۳ a	۶/۹۶ b	۴/۲۶ bc	۴/۹۳ bc	۴/۰۶ bc	۴/۸۰ bc	۴/۵۶ bc	۵/۳۳ b	۳/۳۵ c
	−۱۵	۱/۷۶ b	۴/۳۱ a	۴/۳۸ a	۲/۰۳ b	۱/۶۶ b	۲/۵۳ ab	۲/۱۲ b	۱/۴۳ b	۱/۱۸ b
طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	۰	۲۳/۰۶ a	۱۵/۲۱ bc	۱۴/۳۵ cd	۱۷/۷۶ b	۱۶/۲۷ bc	۱۷/۴۱ bc	۱۴/۴۳ cd	۱۴/۵۱ cd	۱۱/۶۲ d
	−۵	۱۸/۸۳ a	۱۴/۶۳ ab	۱۲/۵۰ b	۱۵/۴۳ ab	۱۴/۹۶ ab	۱۵/۳۰ ab	۱۳/۶۳ b	۱۳/۷۰ b	۱۲/۳۶ b
	−۱۰	۱/۱۰ e	۲/۲۲ bdc	۲/۵۸ abc	۱/۷۹ d	۲/۰۳ cd	۲/۳۱ abcd	۲/۴۱ abcd	۲/۶۹ ab	۲/۹۰ a
	−۱۵	۰/۲۰ d	۱/۶۸ bc	۱/۹۱ abc	۱/۲۷ cd	۱/۴۴ bc	۱/۵۶ bc	۱/۷۴ bc	۲/۳۹ ab	۲/۹۶ a
طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	۰	۱۴/۸۴ a	۱۰/۲۲ b	۹/۱۷ bc	۱۰/۲۰ b	۹/۶۲ b	۱۱/۰۶ b	۹/۵۱ b	۹/۲۲ bc	۷/۴۴ c
	−۵	۱۲/۰۰ a	۸/۷۶ b	۹/۳۸ ab	۹/۹۰ ab	۹/۶۱ ab	۹/۷۱ ab	۷/۵۷ b	۸/۱۴ b	۷/۸۱ b
	−۱۰	۰/۴۷ d	۰/۷۷ abc	۰/۹۵ a	۰/۶۴ cd	۰/۷۲ bc	/۸۰ abc	۰/۸۵ abc	۰/۹۱ ab	۰/۹۳ ab
	−۱۵	۰/۰۳ d	۰/۳۲ bc	۰/۳۶ abc	۰/۲۶ c	۰/۲۹ c	۰/۳۱ bc	۰/۳۳ bc	۰/۴۸ ab	۰/۵۲ a
وزن خشک ریشه‌چه (میلی گرم)	۰	۷/۲۲ a	۵/۵۵ bcd	۵/۲۷ bcd	۶/۶۶ bc	۶/۱۱ bc	۶/۶۶ bc	۵/۰۰ cd	۴/۴۴ de	۳/۳۳ e
	−۵	۵/۰۶ a	۳/۲۷ bc	۲/۹۳ c	۴/۵۳ ab	۳/۹۰ abc	۴/۵۳ ab	۳/۲۳ bc	۴/۳۶ abc	۳/۴۶ abc
	−۱۰	۰/۱۳ e	۰/۸۰ abc	۰/۹۳ ab	۰/۳۸ de	۰/۵۹ bcd	۰/۵۲ cde	۰/۶۶ bcd	۰/۹۴ ab	۱/۰۷ a
	−۱۵	۰/۰۱ d	۰/۱۱ abc	۰/۱۵ ab	۰/۰۵ cd	۰/۰۶ bcd	۰/۰۵ cd	۰/۰۸ bcd	۰/۱۵ ab	۰/۱۸ a
وزن خشک ساقه‌چه (میلی گرم)	۰	۱۱/۱۶ a	۱۰/۰۵ abc	۹/۴۴ bcd	۱۰/۸۳ ab	۱۰/۲۸ abc	۱۱/۰۵ a	۹/۵۱ dc	۸/۲۷ de	۷/۵ e
	−۵	۱۰/۲۸ a	۸/۹۶ ab	۹/۰۵ ab	۹/۵۰ ab	۸/۸۴ ab	۹/۷۰ ab	۶/۵۱ c	۸/۵۳ abc	۷/۸۷ bc
	−۱۰	۰/۶۳ b	۱/۱۳ a	۱/۱ a	۰/۷۵ ab	۰/۹۰ ab	۰/۸۳ ab	۰/۹۰ ab	۰/۷۸ ab	۱/۰۸ a
	−۱۵	۰/۰۲ d	۰/۲۶ abc	۰/۲۸ ab	۰/۲۲ bc	۰/۲۲ bc	۰/۲۱ c	۰/۲۴ bc	۰/۲۸ ab	۰/۳۲ a

در هر ردیف میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند.



شکل ۱ . درصد کاهش میزان جوانه‌زنی سه گونه گلرنگ و نتاج F_2 حاصل از تلاقی آنهادر سطح تنش ۱۵- بار نسبت به شاهد

ریشه و ساقه در هیبریدهای حاصل بیشتر از والدین است (۱۸ و ۲۵). در گلرنگ نتایج مطالعه مجیدی و همکاران (۲۲) نشان داد که گونه وحشی *C. oxyacanthus* از پایداری عمومی بالایی تحت شرایط تنش خشکی برخوردار است و از این رو می‌تواند به عنوان منبعی ژنی مفیدی برای انتقال ژن‌های مقاومت به خشکی به گونه اهلی باشد. زیمرمن و باک (۳۵) با تلاقی گلرنگ اهلی و گونه*C. oxyacanthus* موفق به تولید ارقام مقاوم به سرما شدند که می‌تواند بیانگر پتانسیل ایجاد ارقام مقاوم به تنش‌های غیرزنده از جمله تنش خشکی باشد.

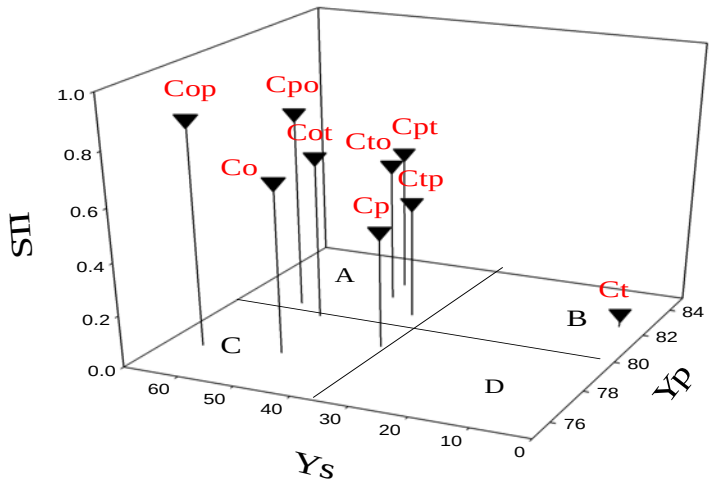
برای بهتر مشخص شدن تفاوت بین گونه‌ها و نتاج آنها از شاخص‌هایTOL (حساسیت به خشکی) و STI (تحمل به خشکی) برای صفات درصد جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه استفاده شد. برای هر دو صفت مورد مطالعه در تمامی سطوح خشکی، بیشترین مقدار شاخص TOL مربوط به گونه اهلی *C. tinctorius* بود که بیان می‌کند این گونه بالاترین حساسیت را دارا می‌باشد و کمترین مقدار این شاخص مربوط به گونه *C. oxyacanthus* و نتاج حاصل از تلاقی آن با دو گونه دیگر بود. برای صفت وزن خشک گیاهچه به‌جز سطح ۵- نیز این شرایط صادق بود. در تمامی سطوح خشکی گونه‌های وحشی و نتاج حاصل از تلاقی در سطوح مختلف تنش از نظر صفات درصد جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه برای شاخص STI نسبت به گونه *C. tinctorius* بیشترین مقادیر را داشتند و نسبت به گونه اهلی مقاوم‌تر بودند (جدول ۵). در این زمینه نیز نتاج حاصل از تلاقی دو گونه وحشی و یا گونه اهلی با یک گونه وحشی عموماً برتری معنی داری نسبت به والدین خود داشتند که می تواند ناشی از هتروزیس و ترکیب ژن‌های والدین باشد. ابوالحسنی و سعیدی (۱) و پورداد و همکاران (۲۷) شاخص STI را به عنوان مناسب ترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ های متحمل گلرنگ گزارش کردند. پاک نیت و اشکانی(۲۶) گزارش کردند که از شاخص‌های GMP، MP، TOL می‌توان برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی با توجه به اهداف به نژادی در گلرنگ بهاره استفاده کرد.

نمودار سه‌بعدی والدین و نتاج حاصل از تلاقی آنها براساس شاخص STI برای صفت درصد جوانه‌زنی در سطح تنش ۱۵- ترسیم شد (شکل ۲). در این نمودار تفکیک نمونه‌های مورد بررسی براساس چهار منطقه تعریف شده توسط فرناندز (۱۱) و شاخص STI نشان داده شده است. نتاج Ctp، Cto، Cpt و Cpo در ناحیه A قرار گرفتند یعنی دارای درصد جوانه‌زنی بالا در دو شرایط تنش و عدم تنش می‌باشند. والد *C. tinctorius* به تنهایی در ناحیه B قرار گرفت که ژنوتیپ‌های این ناحیه، دارایی جوانه‌زنی بالا در شرایط عدم تنش و جوانه‌زنی پایین در شرایط تنش می‌باشند. تلاقی Cot

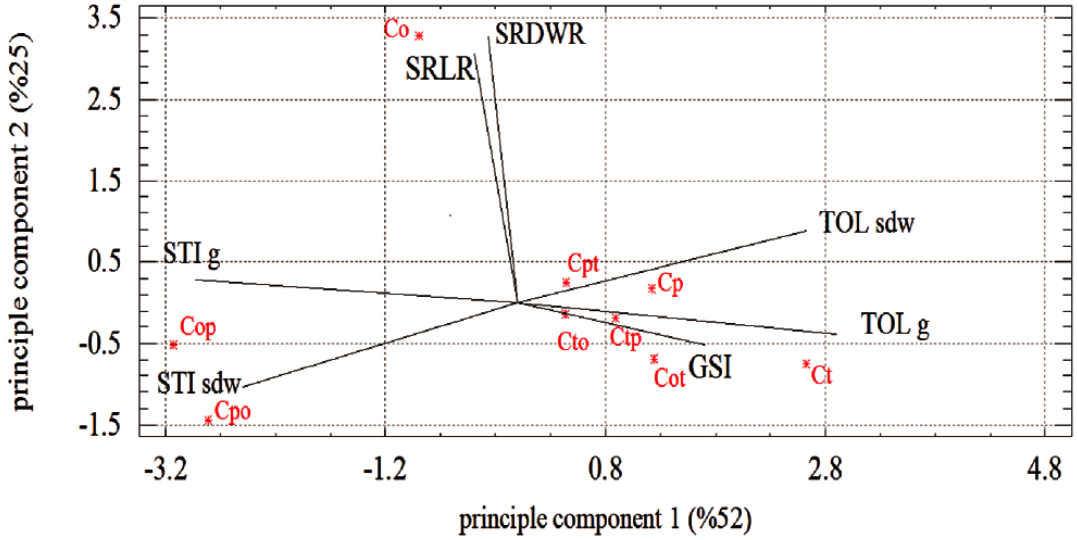
جدول ۵ . مقایسه شاخص‌های تحمل به خشکی صفات جوانه زنی و وزن خشک گیاهچه در سه گونه گلرنگ و نتاج حاصل از تلاقی آنها در تنش خشکی با PEG

ژنوتیپ	سطوح تنش											
	۵- بار				۱۰- بار				۱۵- بار			
	جوانه‌زنی		وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم)		جوانه‌زنی		وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم)		جوانه‌زنی		وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم)	
	TOL	STI	TOL	STI	TOL	STI	TOL	STI	TOL	STI	TOL	STI
Ct	۹/۶۶^{a}	۰/۸۹^{d}	۳/۰۳^{a}	۰/۸۳^{b}	۵۵/۰۰^{a}	۰/۴۰^{g}	۱۷/۶۲^{a}	۰/۰۴^{e}	۸۷/۰۰^{a}	۰/۰۵^{g}	۱۸/۳۸^{a}	۰/۰۰^{e}
Cp	۵/۳۳^{b}	۰/۹۳^{c}	۳/۳۷^{a}	۰/۷۹^{b}	۴۰/۰^{b}	۰/۵۲^{f}	۱۳/۶۷^{bcd}	۰/۱۲^{bc}	۵۵/۰۰^{b}	۰/۳۴^{f}	۱۵/۲۳^{abcd}	۰/۰۲^{bcd}
Co	۱/۰۰^{ab}	۰/۰۰^{cd}	۲/۷۳^{ab}	۰/۸^{b}	۱۹/۰۰^{f}	۰/۷۵^{c}	۱۲/۶۸^{cd}	۰/۱۳^{b}	۲۷/۰۰^{f}	۰/۶۵^{c}	۱۴/۲۸^{bcd}	۰/۰۲^{bc}
Ctp	۵/۰۰^{b}	۰/۹۴^{c}	۳/۴۵^{a}	۰/۸^{b}	۳۴/۰۰^{c}	۰/۶۰^{e}	۱۶/۳۵^{ab}	۰/۰۶^{ed}	۴۷/۰۰^{c}	۰/۴۵^{e}	۱۷/۲۲^{ab}	۰/۰۱^{cde}
Cpt	۳/۰۰^{bc}	۰/۹۶^{bc}	۳/۶۴^{a}	۰/۷۸^{b}	۲۸/۰۰^{d}	۰/۶۷^{d}	۱۴/۸۹^{abc}	۰/۰۹^{bcde}	۳۹/۰۰^{d}	۰/۵۴^{d}	۱۶/۰۹^{abc}	۰/۰۱^{cd}
Cto	۳/۰۰^{b}	۰/۹۶^{bc}	۳/۴۸^{a}	۰/۸۰^{b}	۲۸/۰۰^{d}	۰/۶۷^{d}	۱۶/۳۶^{ab}	۰/۰۷^{ced}	۳۹/۰۰^{d}	۰/۵۴^{d}	۱۷/۴۵^{ab}	۰/۰۱^{de}
Cot	۴/۰۰^{bc}	۰/۹۵^{c}	۴/۳۹^{a}	۰/۷۰^{b}	۲۲/۰۰^{e}	۰/۷۳^{c}	۱۲/۶۰^{dc}	۰/۱۱^{bcd}	۳۱/۰۰^{e}	۰/۶۳^{c}	۱۳/۸۳^{cd}	۰/۰۲^{bcd}
Cpo	−۲/۶۶^{d}	۱/۰۳^{a}	−۰/۱۸^{c}	۱/۰۲^{a}	۱۳/۰۰^{g}	۰/۸۳^{b}	۱۱/۰۰^{de}	۰/۱۳^{bc}	۱۹/۰۰^{g}	۰/۷۵^{b}	۱۲/۲۸^{de}	۰/۰۳^{ab}
Cop	−۲/۳۳^{d}	۱/۰۳^{a}	−۰/۵۰^{c}	۱/۰۴^{a}	۷/۰۰^{h}	۰/۹۰^{a}	۸/۶۸^{e}	۰/۲۰^{a}	۱۱/۰۰^{h}	۰/۸۵^{a}	۱۰/۳۳^{e}	۰/۰۴^{a}

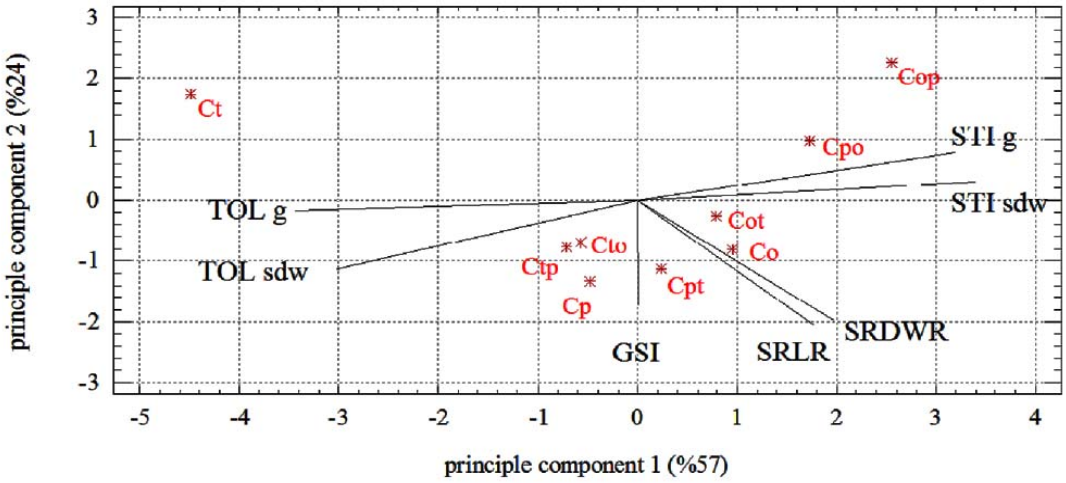
در هر ستون میانگین های دارای حروف غیر مشترک اختلاف آماری معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند.



شکل۲ . نمودار سه بعدی بر اساس شاخص STI، درصد جوانه زنی محیط عدم تنش (Y_p) و تنش خشکی (Y_S) در سه گونه گلرنگ و نتاج حاصل از تلاقی آ نها برای تنش ۱۵-



شکل۳. نمودار بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول برای هفت شاخص در سه گونه گلرنگ و نتاج حاصل از تلاقی آ نها در سطح تنش ۵-



شکل۴. نمودار بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول برای هفت شاخص در سه گونه گلرنگ و نتاج حاصل از تلاقی آ نها در سطح تنش ۱۵-

روی مرز بین ناحیه A و C گونه قرار گرفت. گونه‌های وحشی *C. oxyacanthus*، *C. palaestinus* و نتاج Cop در ناحیه C قرار گرفتند که دارای درصد جوانه‌زنی بالا در شرایط تنش نیز می‌باشد. به نظر می‌رسد در گونه‌های وحشی بدلیل نوعی سازگاری طولانی مدت به شرایط کم آبی، توانایی جوانه‌زنی در پتانسیل‌های اسمزی پایین نیز وجود دارد. استفاده از نمودارهای سه بعدی برای تشخیص ناحیه A (یعنی دارای تحمل به خشکی و عملکرد (جوانه‌زنی) بالا در هر دو شرایط دارای تنش و عدم تنش) از سایر ناحیه‌ها توسط فرناندز (۱۱) مورد استفاده و تأیید قرار گرفته است.

ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی برای بررسی روابط بین تمام شاخص‌ها در دو شرایط تنش و عدم تنش

صورت گرفت. در سطح تنش ۵- اولین مؤلفه اصلی مؤلفه حساسیت نامیده شد زیرا این مؤلفه با شاخص TOL برای صفات درصد جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه هم‌بستگی مثبت و بالایی را نشان داد. در مؤلفه دوم شاخص‌های SRLR (نسبت طول ساقه به ریشه) و SRDWR (نسبت وزن خشک ساقه به ریشه) بار بیشتری داشتند و می‌توان این مؤلفه را توسعه اندام هوایی در شرایط تنش نامید (جدول نشان داده نشده است). بر اساس نمودار بای پلات دو مؤلفه اصلی اول (شکل ۳) نتاج Cop و Cpo از نظر مؤلفه اول مقادیر پایینی را به خود اختصاص دادند و می‌توان آنها را به عنوان مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در نظر گرفت. از نظر مؤلفه دوم نیز این ژنوتیپ‌ها مقادیر پایینی داشتند که نشان می‌دهد این ژنوتیپ‌ها علی‌رغم تحمل به خشکی بالا، از رشد اندام هوایی کمتری (نسبت به ریشه) در شرایط تنش برخوردارند. گونه *C. oxyacanthus* (Co) از نظر مؤلفه اول و دوم به ترتیب دارای مقادیر متوسط و زیاد بود و این نشان‌دهنده حساسیت کم به خشکی و تناسب بین اندام هوایی و ریشه در این گونه می‌باشد با این وجود مقاومت این دو گونه از نتاج Cop و Cpo کمتر بود. نتاج Ctp، Cto، Cpt و Cot و گونه *C. palaestinus* (Cp) از نظر مؤلفه اول و دوم متوسط بودند و گونه *C. tinctorius* دارای مؤلفه اول زیاد و مؤلفه دوم کم بود که این بیانگر حساسیت زیاد گونه اهلی است (شکل ۳).

در سطح تنش۱۵- با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مؤلفه اول معیار تحمل به خشکی و مؤلفه دوم توسعه اندام هوایی در شرایط تنش نامیده شد(جدول نشان داده نشده است). نتاج Cop و Cpo در سطح تنش ۱۵- از نظر مؤلفه اول و دوم مقادیر بالایی را شامل شدند و بهترین عکس العمل را نسبت به تنش خشکی نشان دادند .گونه های وحشی و تمام نتاج حاصل از تلاقی با گونه اهلی دارای مؤلفه اول زیاد و مؤلفه دوم متوسط بودند که نشان دهنده حساسیت نسبتاً پایین آنها می‌باشد. گونه *C. tinctorius* به علت دارا بودن مؤلفه اول کم و مؤلفه دوم زیاد می‌تواند به عنوان حساس‌ترین گونه معرفی شود (شکل ۴). در تحقیق گلپرور و پیربلوطی (۱۴) مؤلفه اول هم‌بستگی مثبت و بالایی با شاخص های STI، GMP و عملکرد ژنوتیپ‌ها داشت و به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی نام‌گذاری شد. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش با مطالعات فرشادفر و همکاران در نخود (۹) و گل‌آبادی و همکاران درگندم (۱۲) تطابق داشت.

در مجموع نتایج این پژوهش با بهره‌گیری از نمودار سه بعدی و و ترسیم بای پلات مؤلفه‌های اصلی نشان داد که گونه‌های وحشی (*C. palaestinus* و *C.oxyacanthus*) و نتاج حاصل از تلاقی نسبت به گونه اهلی تحمل بسیار بیشتری به تنش خشکی در مرحله گیاهچه دارا بودند. بیشترین مقاومت در نتاج حاصل از تلاقی دو گونه وحشی (Cpo و Cop) مشاهده شد که می‌توان این موضوع را به عواملی همچون هتروزیس و ترکیب ژن‌های والدین نسبت داد که در مطالعات دیگر در گلرنگ نیز مشاهده شده است (۲۳). برخی از نتاج حاصل از تلاقی گونه اهلی با وحشی (Ctp، Cto، Cpt و Cpo) نیز ضمن داشتن جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بالا در شرایط عدم تنش، دارای پتانسیل قابل قبولی در شرایط تنش بودند که می‌توانند پس از مطالعات بیشتر بویژه در شرایط مزرعه در برنامه‌های پیشرفته به‌نژادی برای اصلاح و ایجاد ارقام متحمل در شرایط خشکی استفاده گردند.

منابع مورد استفاده

1. Abolhasani, K. and G. Saeidi. 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 Farsi).

2. Araus, J. L., C. Sánchez and L. Cabrera-Bosquet. 2010. Is heterosis in maize mediated through better water use. *New Phytology* 187: 392–406
3. Ashri, A. and P. F Knowles. 1960. Cytogenetics of safflower (*Carthamus* L.) Ssecies and their hybrids. *Agronomy Journal* 52: 11-17.
4. Baalbaki, R. Z, R. A. Zurayk, S. N. Bleik and A.Talhuk. 1990. Germination and seedling development of drought susceptible wheat under moisture stress. *Seed Science and Technology* 17: 291-302.
5. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybeans. 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937
6. Chapman, M. A. and J. M. Burke. 2007. DNA sequence diversity and the origin of cultivated safflower (*Carthamus tinctorius* L.; Asteraceae). *BMC Plant Biology* 7: 60.
7. Clegg, M. T. 1997. Plant genetic diversity and the struggle to measure selection. *The Journal of Heredity* 88:1-70.
8. Duman, I. 2006. Effects of Seed Priming with PEG or K3PO4 on germination and seedling growth in lettuce. *Pakistan Journal Biologic Science* 9: 923-928.
9. Farshadfar, E. A., M. R. Zamani, M. Matlabi and E. E. Emam-jome. 2001. Selection for drought resistance chichpea lines. *Journal Agriculture Science* 32: 65-77 (In Farsi).
10. Farsiani, A. and M. E. Ghobadi. 2009. Effects of PEG and NaCl stress on two cultivars of corn (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stages. *World Academy of Science Engineering and Technology* 57: 382-385.
11. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo,C.C. (ed), Proc. of international symposium on adaptation of food crops to temperature and water stress, AVRDC, Shanhua, Taiwan. PP 257-270.
12. Golabadi, M., A. Arzani and S. A. M. Mirmohamadi Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agriculture* 5: 162-171.
13. Gholamin, R. and M. Khayatnezhad. 2010. Effects of polyethylene glycol and NaCl stress on two cultivars of wheat (*Triticum durum*) at germination and early seeding stages. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 9: 86-90.
14. Golparvar, A. R. and A. G. Pirbalouti. 2008. Assessment of drought resistance of spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Isfahan province. *Journal of Research in Agricultural Science* 4: 11-20 (In Farsi).
15. Hardegree, S. P. and W. E. Emmerich. 1994. Seed germination response to polyethylene glycol solution depth. *Seed Science and Technology* 22: 1-7.
16. Jenkins, M. T. 1932. Differential resistance of inbred and crossbred strains of corn to drought and heat injury. *Agronomy Journal* 24: 504–506
17. Kaufman, M. R. and A. N. Eckard. 1971. Evalution of stress control by polyethylene. glycols by analysis of gulation. *Plant Physiology* 47:453-456.
18. Khayatnezhad, M., R. Gholamin, S. H. Jamaatie-Somarin and R. Zabihi-Mahmoodabad. 2010. Effects of peg stress on corn cultivars (*Zea mays* L.) at germination stage. *World Applied Science Journal* 11: 504-506.
19. Knowles, P. F. 1980. Safflower. PP. 535-547, *In*: W.R. Fehr and H.H. Hadley (Ed.), Hybridization of Crop Plants. Madison, Wisconsin, USA.
20. Lee, Y. C., S. W. Oh, J. Chang and I. H. Kim. 2002. Chemical composition and oxidative stability of safflower oil prepared from safflower seed roasted with different temperatures. *Food Chemist*ry 84:1-6.
21. Lovelli, S., M. Perniola, A. Ferrara and D. T. Tommaso. 2007. Yield response factor to water and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agricultural Water Management* 92: 73-80.
22. Majidi, M. M., V. Tavakoli, A. Mirlohi and M. R. Sabzalian. 2011. Wild safflower species (*Carthamus oxyacanthus* Bieb.): A possible source of drought tolerance for arid environments. *Crop Science* 5:1055-1063
23. Manjane, M. R. and N. D. Jambhale. 1995. Heterosis for yield and yield contributing characters in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 55:65-68.
24. Mostafavi, K. H. 2011. An evaluation of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius L.*), seed germination and seedling characters in salt stress conditions. *African Journal of Agriculture Recherch* 6: 1667-1672.
25. Mostafavi, K. H., H. Sadeghi Geive, M. Dadresan and M. Zarabi. 2011. Effects of drought stress on germination indices of corn hybrids (*Zea mays* L.). *International Journal of Agriculture Science* 1: 10-18.
26. Pakniyat, H. and J. Ashkani. 2003. Genetic investigation of quantitative indices of drought resistance in spring safflower (*Carthamus tinctorius*). *Agricultural Sciences and Technology Journal* 17: 31-35(In Farsi).
27. Pourdad, S. S., K. Alizadeh, R. Azizinegad, A. Shariati, M. Eskandari, M. Khiavi and E. Nabatee. 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 Farsi).
28. Pourdad, S. 1999. Primary evaluation of safflower germplasm in rainfall condition. *Iranian Institute of Dryland Agricultural Research* 87: 2.

29. Prisco, J. T., C. R., Baptista and E. J. L Pinheiro. 1992. Hydration-dehydration seed pre-treatment and its effects on seed germination under water stress conditions. *Revista Brasileira de Botânica*15: 31-35.
30. Rade, D. and R. K. Kar. 1995. Seed germination and seedling growth of mange bean (*vigna vadiata*) under water stress induced by PEG 6000. *Seed Science and Tecnology* 23: 301-308.
31. Rashed, A. N., F. U. Afifi, M. Shaedah and M. O. Taha. 2004. Investigation of the active constituents of *Portulaca oleraceae* L. (Portulacaeae) growing in Jordan. *Pakistan Journal Pharmaceutical Science* 17: 37-45.
32. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
33. Seiler, G. J. 2006. Wild annual *Helianthus anomalus* and *H. deserticila* for improving oil content and quality in sunflower. *Industrial Crop Production* 25: 95-100.
34. Sujatha, M., and A. J. Prabakaran. 2006. Ploidy manipulation and introgression of resistance to *Alternaria helianthi* from wild *hexaploid Helianthus* species to cultivated sunflower (*H. annuus* L.) aided by anther culture. *Euphytica* 152: 201-215.
35. Zimmerman, L. and B. Buck. 1977. Selection for seedling cold tolerance in safflower with modified controlled environment chambers. *Crop Science* 5: 679-682.