غربالگری برای تحمل خشکی آخر فصل در ژرم‌پلاسم داخلی و خارجی گلرنگ براساس شاخص‌های حساسیت و تحمل

رضا ملکی‌نژاد[۱] و محمدمهدی مجیدی*[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱)

چکیده

به‌منظور ارزیابی تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ زراعی (*Carthamus tinctorius* L.)، آزمایشی در سال ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. در این آزمایش ۱۰۰ ژنوتیپ گلرنگ شامل ۸۱ ژنوتیپ خارجی و ۱۹ ژنوتیپ داخلی در دو محیط رطوبتی (عدم تنش و تنش خشکی) به‌صورت طرح لاتیس ساده مورد بررسی قرار گرفتند. برای تعیین میزان تحمل یا حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، شاخص‌های حساسیت به خشکی (SSI)، شاخص متوسط تولید (MP)، شاخص تحمل خشکی (STI)، میانگین هندسی تولید (GMP) و شاخص تحمل (TOL) محاسبه شدند. نتایج نشان داد که در هر دو رژیم رطوبتی تفاوت بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه وجود داشت. در بین شاخص‌های مورد بررسی شاخص‌های MP، GMP و STI برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل مناسب‌تر بودند. براساس شاخص‌های یادشده و ترسیم بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های PI 369847 از تاجیکستان، CART 56 از آمریکا، PI 657820 از اردن و PI 305527 از سودان بیشترین تحمل را به شرایط کم آبی نشان دادند. ژنوتیپ‌های PI 537652 از مکزیک، CART 131 از پاراگوئه، PI 470942 از بنگلادش، PI 209286 از رومانی و CART 32 از آلمان به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. نتایج نشان داد که تکنیک مؤلفه‌های اصلی از کارآیی بالایی برای جداسازی ژنوتیپ‌ها براساس شاخص‌ها برخوردار بود. ژنوتیپ‌های شناسایی‌شده بایستی در مطالعات تکمیلی بررسی شوند تا برای انجام مطالعات ژنتیکی و توسعه ارقام متحمل سازگار مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: گلرنگ، تنش خشکی، شاخص‌های تحمل خشکی، تجزیه بای‌پلات

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

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

مقدمه

گلرنگ زراعی (Safflower) با نام علمی *Carthamus tinctorius* L. یکی از گونه‌های خانواده *Compositae* است که در اکثر نواحی دنیا کشت و کار می‌شود (۷). گلرنگ یک‌ساله پائیزه است و دارای ساقه اصلی استوانه‌ای و چوبی می‌باشد (۲۳). این گیاه دارای ریشه مستقیم، قوی و توسعه یافته با ریشه‌های جانبی زیاد است که در خاک‌های عمیق، نفوذپذیر، مرطوب و گرم تا عمق نزدیک به ۳ متر نفوذ می‌کند. این سیستم ریشه‌ای، تهیه آب و مواد معدنی را از لایه‌های عمیق‌تر خاک برای گلرنگ فراهم می‌کند، به‌همین دلیل این گیاه در مقایسه با سایر گیاهان زراعی به شرایط خشکی مقاوم‌تر است (۲۵).

همه موجودات زنده برای رشد و نمو بهینه به شرایط مطلوبی نیاز دارند. انحراف از این شرایط سبب اختلال در رشد و نمو موجودات می‌شود. به هر عامل محیطی که باعث کاهش پتانسیل رشد شود، تنش محیطی اطلاق می‌شود (۲). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده می‌باشد که تولید گیاهان را به شدت تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. فیزیولوژیست‌ها تنش را مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی و محیطی می‌دانند که تولید گیاه را کاهش می‌دهد (۲). از آن‌جایی‌که بخش اعظم اراضی ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارد که با محدودیت منابع آب مواجه می‌باشد، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و مطالعه تحمل نسبی به تنش کمبود آب در گیاهان زراعی ضروری به‌نظر می‌رسد (۳).

شاخص‌های متعددی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر مبنای وضعیت آنها در محیط‌های دارای تنش و بدون تنش پیشنهاد شده‌است اما سینگ و همکاران (۲۴) برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی اظهار نمودند بین صفات فیزیولوژیک و زراعی که به‌عنوان معیار انتخاب برای تحمل به خشکی استفاده می‌شود، عملکرد دانه مورد اطمینان‌تر است زیرا برآیند همه صفات و فرآیندها در گیاه است. فرناندز (۸) با بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط تنش و بدون تنش واکنش گیاهان را به ۴ گروه تقسیم کرد: الف- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و عدم تنش (گروه A). ب- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در محیط عدم تنش (گروه B). ج- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در محیط تنش (گروه C). د- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در هر دو محیط تنش و عدم تنش (گروه D). هم‌چنین وی اظهار داشت که مناسب‌ترین معیار انتخاب برای تنش شاخصی است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد. حساسیت به خشکی یک ژنوتیپ معمولاً براساس میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی برآورد می‌شود (۴). بر همین اساس فیشر شاخص حساسیت به تنش (Stress SSI = Susceptibility Index) را پیشنهاد کرد و نشان داد که این شاخص مستقل از عملکرد بالاقوه نیست (۹). انتخاب براساس شاخص SSI سبب گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش می‌شود، درحالی‌که ممکن است ژنوتیپ‌های انتخاب شده، در شرایط عدم تنش دارای عملکرد بالا یا پایین باشند. بنابراین این شاخص قادر به تفکیک گروه A از گروه C نمی‌باشد. در این راستا فرناندز (۸) برای شناسائی ارقام گروه A شاخص تحمل به تنش (STI = Stress Tolerance Index) را ارائه نمود که مقدار بالای این شاخص برای ژنوتیپ نمایانگر تحمل به خشکی بهتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ است. رزیل و هامبلین (۲۰) شاخص دیگری را به‌صورت میانگین حسابی عملکرد (MP = Mean productivity) در دو محیط تنش و عدم تنش پیشنهاد نمودند. ارقامی که در شرایط با رطوبت مناسب و نیز در شرایط کم آبیاری عملکرد با ثبات‌تری داشته باشند و یا به‌عبارت دیگر تفاوت عملکرد آنها در هر دو شرایط حداقل باشد، تحمل نسبی بیشتری به خشکی خواهند داشت.

رزیل و هامبلین (۲۰) شاخص تحمل (TOL = Tolerance Index) را به‌صورت اختلاف عملکرد محیط تنش و بدون تنش تعریف کردند. ارقامی که مقادیر TOL کمتری دارند از حساسیت به تنش کمتری برخوردارند. اگرچه این ارقام به‌لحاظ اکولوژیک می‌توانند اهمیت داشته باشند ولی به‌دلیل این‌که الزاماً از عملکرد بالایی برخوردار نیستند از دیدگاه کشاورزی و

جدول ۱. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گلرنگ و منشاء آنها درمطالعه غربالگری بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت

شماره	کد نمونه	منشاء	شماره	کد نمونه	منشاء	شماره	کد نمونه	منشاء
۱	PI 198844	France	۳۵	PI 369843	Uzbekistan	٦۹	CART 126	Belgian
۲	PI 209286	Romania	۳٦	PI 369844	Uzbekistan	۷۰	CART 55	Polen
۳	PI 209299	Kenya	۳۷	PI 369853	Uzbekistan	۷۱	PI 537652	Mexico
۴	PI 209300	Kenya	۳۸	PI 369854	Uzbekistan	۷۲	CART 70	Libyen
۵	PI 239707	Turkey	۳۹	PI 369845	Tajikestan	۷۳	CART 49	Spania
٦	PI 239708	Turkey	۴۰	PI 369847	Tajikestan	۷۴	PI 657820	Jordan
۴	PI 253516	Germany	۴۱	PI 369848	Ukraine	۷۵	CART 83	TJK
۸	PI 576991	Germany	۴۲	PI 386173	Syria	۷٦	CART 132	DEU
۹	PI 253519	Austria	۴۳	PI 386174	Syria	۷۷	CART 103	Canada
۱۰	PI 253520	Austria	۴۴	PI 387820	Thailand	۷۸	PI 209287	Romania
۱۱	PI 253521	Italy	۴۵	PI 387821	Thailand	۷۹	PI 532619	Cyprus
۱۲	PI 253522	Italy	۴٦	PI 401470	Bangladesh	۸۰	PI 198843	France
۱۳	PI 253541	Hungary	۴۷	PI 470942	Bangladesh	۸۱	CART 79	Japan
۱۴	PI 253544	Poland	۴۸	PI 426188	Afghanistan	۸۲	CTNIR 1	Iran
۱۵	PI 311737	Poland	۴۹	PI 426189	Afghanistan	۸۳	CTNIR 2	Iran
۱٦	PI 253548	Denmark	۵۰	PI 657789	Mexico	۸۴	CTNIR 3	Iran
۱۷	PI 253560	Morocco	۵۱	PI 657790	Mexico	۸۵	CTNIR 4	Iran
۱۸	PI 253561	Switzerland	۵۲	PI 572425	United States	۸٦	CTNIR 5	Iran
۱۹	PI 253759	Iraq	۵۳	PI 572426	United States	۸۷	CTNIR 6	Iran
۲۰	PI 253762	Iraq	۵۴	PI 653202	India	۸۸	CTNIR 7	Iran
۲۱	PI 254976	Greece	۵۵	PI 657787	India	۸۹	CTNIR 8	Iran
۲۲	PI 258420	Portugal	۵٦	PI 653213	Chaina	۹۰	CTNIR 9	Iran
۲۳	PI 393988	Portugal	۵۷	PI 657817	Chaina	۹۰	M 113	Iran
۲۴	PI 262424	Australia	۵۸	PI 657800	Egypt	۹۲	M 115	Iran
۲۵	PI 262425	Australia	۵۹	PI 657801	Egypt	۹۳	S 149	Iran
۲٦	PI 279343	Japan	٦۰	PI 657819	Jordan	۹۴	S 144	Iran
۲۷	PI 286199	Kuwait	٦۱	PI 657823	Palestinian Territory	۹۵	C 4110	Iran
۲۸	PI 286385	Eritrea	٦۲	CART 64	Slowakei	۹٦	کرمانشاه	Iran
۲۹	PI 286386	Eritrea	٦۳	CART 32	Germany	۹۷	داراب۲	Iran
۳۰	PI 291600	Argentina	٦۴	CART 87	Romanie	۹۸	خراسان۳۳۰	Iran
۳۱	PI 367833	Argentina	٦۵	CART 56	USA	۹۹	محلی مرند	Iran
۳۲	PI 305527	Sudan	٦٦	CART 124	Pakistan	۱۰۰	همدان۲۱	Iran
۳۳	PI 305528	Sudan	٦۷	CART 70	Libyen			
۳۴	PI 306684	Israel	٦۸	CART 131	Paraguay			

اصلاح نباتات نمی‌توانند مفید واقع شوند و لذا بایستی به‌دنبال شاخص‌های تحمل بود. طبق نظر فرناندز (۸) با توجه به این‌که شدت تنش خشکی در سال‌های مختلف متفاوت است، جهت تعیین میزان تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش از میانگین هندسی (GMP = Geometric Mean Productivity) ژنوتیپ‌ها در دو محیط استفاده کرد. میانگین هندسی حساسیت کمتری به اختلاف بین عملکرد در شرایط دیم و آبی دارد. لذا میانگین هندسی برای جدا کردن ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد برتری دارند، شاخص بهتری نسبت به شاخص تحمل (TOL) و شاخص متوسط محصول‌دهی (MP) است.

زراعی و قدسی (۲۹)، شاخص حساسیت (SSI) و تحمل به تنش خشکی (STI) را برای گندم نان محاسبه کردند و تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها، هم از لحاظ عملکرد و هم از لحاظ شاخص‌ها مشاهده کردند. شفازاده و همکاران (۲۲) در بررسی تحمل به خشکی آخر فصل با توجه به شاخص‌های تحمل و حساسیت به این نتیجه رسیدند که رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم براساس شاخص‌های تحمل به تنش، محصول‌دهی متوسط و میانگین هندسی محصول‌دهی یکسان بود و بین شاخص‌های مذکور و عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. نتایج پژوهشی در لاین‌های پیشرفته گندم دوروم در خصوص تأثیر تنش خشکی و گرما نشان داد که شاخص‌های حساسیت به تنش و میانگین هندسی تولید در مقایسه با سایر شاخص‌ها از قدرت تمایز بالاتری برای انتخاب ژنوتیپ‌ها برخوردار می‌باشند (۱۳).

در کلزا شاخص‌های MP، GMP و STI به‌عنوان بهترین شاخص‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی معرفی شده است (۱۶). ابوالحسنی و سعیدی (۱) و پورداد و همکاران (۱۸) شاخص STI را مناسب‌ترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل گلرنگ گزارش کردند. پاک‌نیت و اشکانی (۱۷) گزارش کردند که از شاخص‌های TOL، MP و GMP می‌توان برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی با توجه به اهداف به‌نژادی در گلرنگ استفاده کرد. در مطالعه ضرغامی و همکاران (۳۰) شاخص‌های STI، MP و GMP دارای همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه گلرنگ در شرایط تنش و عدم تنش بود و به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند.

با توجه به شرایط اقلیمی کشور و وقوع خشکسالی‌های متناوب و از طرفی نیاز مبرم به روغن خوراکی، شناسایی ارقام متحمل به خشکی به‌ویژه در گونه‌های بومی و دارای کیفیت روغن بالا نظیر گلرنگ از اهمیت خاصی برخوردار است. براین اساس این مطالعه با هدف ارزیابی تحمل به تنش خشکی و غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت و استفاده از تجزیه بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. این مزرعه در طول جغرافیایی ۲۲ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی در فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان اصفهان (منطقه لورک) واقع شده است. در این آزمایش تعداد ۱۰۰ ژنوتیپ مختلف گلرنگ که نام و منشاء آنها در جدول ۱ نشان داده شده است (شامل ۸۱ ژنوتیپ خارجی و ۱۹ ژنوتیپ داخلی) در قالب طرح لاتیس ۱۰ × ۱۰ ساده با ۲ تکرار در دو رژیم رطوبتی شامل آبیاری بر اساس ۵۰ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک مزرعه (بافت لومی‌رسی)، مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این پژوهش تمامی کرت‌ها تا مرحله تکمه‌دهی از نظر آبیاری و اعمال مدیریت‌های زراعی به‌صورت یکسان در نظر گرفته شدند. برای اعمال تیمار آبیاری و کنترل آب خاک از روش درصد رطوبت وزنی خاک استفاده گردید. درصد رطوبت وزنی خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری، ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک با روش نمونه‌گیری از خاک تعیین شد و زمانی که در تیمار

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های مقاومت به خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط عدم‌تنش و تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		Yp	Ys	SSI	TOL	MP	GMP	STI
تکرار	۱	۲۴/۰۷	۲۴۱/۵۷	۰/۰۱	۴۱۸/۳۰	۲۸/۲۹	۵۰/۹۳	۱/۷۰۲
بلوک داخل تکرار	۱۸	۲۵/۱۳	۱۸/۲۵	۲۳/۶۶	۳۲/۹۶	۱۵/۳۳	۱۵/۹۲	۰/۱۹۱
ژنوتیپ								
تصحیح نشده	۹۹	۵۹/۴۹	۴۴/۴۵	۱۹/۹۹	۵۱/۲۸	۳۹/۱۵	۳۹/۰۷	۰/۵۵
تصحیح شده	۹۹	۵۹/۴۹**	۴۴/۴۵**	۱۹/۹۹^{ns}	۵۱/۲۸^{ns}	۳۹/۱۵**	۳۹/۰۷**	۰/۵۵**
خطای داخل بلوک	۸۱	۲۶/۵۵	۲۲/۷۴	۱۷/۵۲	۴۷/۶۸	۱۲/۳۱	۱۲/۲۹	۰/۱۷
کل	۱۹۹	۴۲/۷۹	۳۴/۲۳	۱۹/۲۱	۵۰/۰۱	۲۶/۰۱	۲۶/۱۳	۰/۳۷
بازدهی نسبت به طرح RCDB		۱۰۹/۰۳	۱۰۶/۴۱	۱۰۱/۵۸	۱۰۸/۳۲	۱۰۰/۸۵	۱۰۱/۱۸	۱۰۰/۱۳

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

شاهد و تنش به‌ترتیب ۵۰ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک انجام شد، آبیاری صورت گرفت. کشت به‌صورت مسطح در ۱۵ اسفند ۱۳۹۰ انجام شد. هر پلات شامل ۳ ردیف به‌طول ۳ متر با فاصله بین ردیف ۳۵ سانتی‌متر و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع بود. در این تحقیق از شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش خشکی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها استفاده شد که در روابط زیر نشان داده شده‌اند. در تمامی روابط زیر Ys و Yp به‌ترتیب عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی و عدم تنش است. هم‌چنین Yms و Ymp به‌ترتیب میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و عدم تنش است.

۱. شاخص حساسیت TOL (۲۰):

رابطه (۱) $TOL = (Yp - Ys)$

مقادیر زیاد TOL بیان‌کننده حساسیت بیشتر به تنش است. گزینش برای مقادیر کم این شاخص سبب انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در دو محیط پایداری بیشتری دارند.

۲. شاخص میانگین حسابی عملکرد (MP) (۲۰):

رابطه (۲) $MP = (Yp+ Ys)/ ۲$

شاخص متوسط عملکرد نیز باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی در شرایط مطلوب دارند، ولی از عملکرد کمی در شرایط نامطلوب برخوردارند، چون این شاخص تمایل به‌سمت عدد بزرگ‌تر دارد.

۳. شاخص حساسیت به تنش (۹):

رابطه (۳) $SSI = (1- (Ys / Yp))/ SI$

در این فرمول SI یا شدت تنش عبارت است از:

$SI = 1- (Yms / Ymp)$

۴. شاخص میانگین هندسی (GMP) (۸):

رابطه (۴) $GMP = (Ys / Yp)^{0.5}$

نظر به این‌که محاسبه MP بر اساس میانگین حسابی است درصورتی‌که اختلاف بین Ys و Yp خیلی زیاد باشد مقدار MP با مقداری اشتباه برآورد خواهد شد اما به‌سبب این‌که میانگین هندسی حساسیت زیادی به‌وجود تفاوت شدید بین Ys و Yp ندارد، لذا شاخص بهتری نسبت به MP برای تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها خواهد بود.

۵. شاخص تحمل تنش (STI) (۸) :

رابطه (۵) $STI = (Yp \times Ys)/ (Ymp)^2$

که قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در دو محیط تنش و بدون تنش است. مقدار بالاتر شاخص STI برای

جدول ۳. عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گلرنگ در شرایط تنش و عدم تنش براساس عملکرد دانه در بوته (گرم)

شماره ژنوتیپ	عدم تنش	تنش	شماره ژنوتیپ	عدم تنش	تنش	شماره ژنوتیپ	عدم تنش	تنش
۱	۱۵/۳۴	۱۶/۷۷	۳۵	۲۰/۶۱	۱۲/۸۳	۶۹	۱۳/۳۵	۸/۷۷
۲	۱۵/۴۵	۵/۲۰	۳۶	۲۳/۱۴	۱۹/۶۴	۷۰	۱۱/۵۷	۱۱/۵۱
۳	۱۷/۵۹	۶/۳۲	۳۷	۱۷۲۵	۱۳/۲۷	۷۱	۱/۱۸	۴/۱۱
۴	۱۳/۷۴	۱۰/۰۸	۳۸	۲۱/۱۶	۹/۶۶	۷۲	۱۰/۷۲	۹/۵۰
۵	۸/۴۴	۸/۲۸	۳۹	۲۶/۳۰	۱۳/۶۱	۷۳	۱۵/۰۶	۱۴/۸۵
۶	۱۱/۴۰	۱۲/۰۲	۴۰	۳۵/۵۶	۲۹/۵۶	۷۴	۲۵/۷۵	۲۲/۸۹
۴	۱۱/۳۴	۱۵/۲۲	۴۱	۱۱/۲۲	۱۴/۶۶	۷۵	۱۵/۵۱	۱۱/۰۶
۸	۱۶/۲۱	۱۹/۴۱	۴۲	۱۷/۸۹	۱۶/۵۹	۷۶	۱۳/۰۰	۱۰/۹۶
۹	۱۲/۰۸	۱۲/۳۶	۴۳	۲۱/۳۶	۲۳/۰۶	۷۷	۱۳/۳۷	۱۷/۲۶
۱۰	۱۹/۶۲	۱۸/۵۴	۴۴	۱۸/۶۱	۱۸/۹۱	۷۸	۱۱/۹۲	۸/۳۱
۱۱	۱۷/۵۵	۱۲/۳۸	۴۵	۱۲/۴۳	۱۲/۴۱	۷۹	۱۸/۷۳	۲۲/۷۶
۱۲	۱۳/۹۳	۱۱/۲۹	۴۶	۲۱/۸۴	۱۳/۸۲	۸۰	۱۳/۳۹	۱۷/۲۴
۱۳	۲۱/۷۶	۱۵/۱۰	۴۷	۱۴/۴۶	۵/۵۵	۸۱	۱۴/۴۸	۹/۳۷
۱۴	۹/۹۵	۱۱/۶۱	۴۸	۱۷/۱۹	۹/۸۱	۸۲	۹/۸۱	۱۵/۱۱
۱۵	۱۹/۶۶	۱۳/۱۹	۴۹	۱۸/۸۶	۸/۸۰	۸۳	۱۵/۵۱	۱۵/۲۲
۱۶	۱۱/۸۵	۱۲/۶۴	۵۰	۱۲/۸۸	۱۲/۲۲	۸۴	۱۹/۷۶	۱۹/۱۹
۱۷	۱۷/۲۶	۱۳/۹۲	۵۱	۱۵/۲۳	۹/۵۴	۸۵	۲۴/۶۴	۱۱/۳۲
۱۸	۱۴/۲۹	۱۲/۸۰	۵۲	۱۳/۹۸	۹/۴۴	۸۶	۱۶/۲۵	۱۶/۱۱
۱۹	۱۶/۹۶	۱۳/۲۳	۵۳	۲۵/۰۹	۱۲/۳۱	۸۷	۱۳/۲۷	۱۲/۳۹
۲۰	۲۲/۹۱	۱۵/۵۴	۵۴	۲۰/۹۰	۱۷/۷۲	۸۸	۱۷/۵۶	۱۱/۱۳
۲۱	۱۹/۴۱	۱۸/۳۴	۵۵	۲۳/۴۴	۱۸/۷۹	۸۹	۱۶/۱۶	۹/۱۹
۲۲	۱۶/۳۵	۱۴/۹۸	۵۶	۱۳/۱۷	۱۱/۸۲	۹۰	۱۴/۲۰	۱۲/۹۹
۲۳	۲۲/۲۳	۲۳/۲۱	۵۷	۱۱/۰۲	۴/۵۹	۹۰	۱۸/۸۷	۱۳/۲۴
۲۴	۱۶/۷۶	۸/۲۹	۵۸	۲۲/۵۶	۲۱/۷۲	۹۲	۲۲/۷۳	۱۰/۳۱
۲۵	۱۶/۷۶	۶/۹۶	۵۹	۲۳/۲۳	۲۰/۳۴	۹۳	۲۳/۸۹	۱۸/۷۸
۲۶	۱۸/۱۷	۱۰/۸۰	۶۰	۱۶/۶۵	۱۶/۹۱	۹۴	۱۴/۵۸	۱۲/۴۰
۲۷	۲۳/۵۳	۸/۳۷	۶۱	۲۰/۶۶	۱۲/۷۴	۹۵	۲۴/۳۵	۹/۰۹
۲۸	۱۴/۸	۷/۸۱	۶۲	۱۸/۰۸	۹/۹۰	۹۶	۱۹/۳۶	۲۰/۷۷
۲۹	۴/۷۶	۱۱/۲۵	۶۳	۹/۷۵	۱۰/۵۰	۹۷	۱۹/۱۶	۱۶/۸۵
۳۰	۲۳/۲۵	۱۹/۶۰	۶۴	۱۵/۱۷	۷/۱۷	۹۸	۱۶/۴۸	۱۲/۱۱
۳۱	۱۳/۳۱	۱۲/۵۲	۶۵	۳۲/۷۶	۲۱/۸۸	۹۹	۱۷/۲۵	۱۲/۹۲
۳۲	۲۶/۲۴	۲۰/۷۵	۶۶	۲۴/۱۰	۱۵/۳۶	۱۰۰	۱۴/۶۴	۱۲/۷۱
۳۳	۱۰/۰۰	۱۹/۱۶	۶۷	۱۰/۳۶	۹/۶۶			
۳۴	۹/۲۴	۱۱/۹۰	۶۸	۱۰/۷۸	۵/۱۱			

یک ژنوتیپ نمایانگر تحمل بـه تـنش بـالاتر و عملکـرد بـالقوه بیشتر آن ژنوتیپ است.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد و شـاخص‌هـای تحمل و حساسیت بـا اسـتفاده از نـرم افـزار SAS انجـام شـد. هم‌چنین همبستگی بـین شـاخص‌هـای مختلـف و عملکـرد در شـرایط تـنش و بـدون تـنش محاسـبه و بـر اسـاس تحلیـل همبستگی‌ها، مناسب‌تـرین شـاخص‌هـا تعیـین گردیـد. پـس از شناسایی بهترین شاخص‌ها، برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل بـه خشکی با عملکرد بالا در هر دو محیط نمودار سه‌بعدی توسـط نرم افزار Sigma Plot ترسیم شد. از آن‌جایی‌که در یک نمـودار سه‌بعدی فقط روابط بین سه متغییر را می‌توان مطالعه کرد، برای مطالعه هم‌زمان بیش از سه متغیر، تجزیه بـه مؤلفـه‌هـای اصـلی انجام شد و سپس نمایش ترسیمی بای‌پلات براساس دو مؤلفـه اصلی اول با استفاده از نرم‌افزار StatGraphics انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌ها در جدول ۲ نتایج نشان داد کـه در تمام شاخص‌ها جز شاخص‌های SSI و TOL بـین ژنوتیـپ‌هـا تفاوت معنی‌داری وجود داشـت (جـدول ۲). همـان‌طورکـه در جدول ۳ آورده شده‌است کمترین مقدار عملکرد دانه در بوته در هر دو شرایط عـدم تـنش و تـنش خشـکی متعلـق بـه‌ژنوتیـپ PI 537652 از مکزیک (به‌ترتیب ۴/۱۱ و ۱۸/۱۸ گرم در بوتـه) و بیشترین مقدار در هر دو شرایط عدم تـنش و تـنش خشـکی متعلق بـه‌ژنوتیـپ PI 369847 از تاجیکسـتان (۲۹/۵٦ و ۳۵/۵۵ گرم در بوته) بود. شدت تـنش (SI) بـرای عملکـرد دانـه ۰/۲۱ برآورد شد. شدت تنش معیاری جهت ارزیابی میزان تـنش وارد شده به یک کانوپی گیاهی به‌واسطه یک عامل نامطلوب محیطـی براساس میزان خسارت به عملکرد می‌باشد (۸).

براساس شاخص SSI ژنوتیـپ‌هـای PI 286199 از کویـت، C 4110 از اصفهان، PI 209286 از رومانی، PI 209299 از کنیـا و ژنوتیپ PI 572426 از آمریکا بیشترین میزان این شـاخص و ژنوتیپ‌های PI 305528 از سودان، C111 از ایران، PI 537652 از مکزیک، PI 198844 از فرانسه و کرمانشاه کمترین میزان این شاخص را به‌خود اختصاص دادند (نتایج نشان داده نشده‌است). بررسی ژنوتیپ‌ها براساس شاخص SSI فقط ژنوتیـپ‌هـا را بـر مبنای حساسیت یا تحمل به تنش خشکی تقسیم‌بندی می‌کنـد و در این شاخص ژنوتیپ‌ها بدون توجه به پتانسیل عملکـرد آنهـا شناسایی می‌گردند (۸). به‌طورکلی انتخـاب بـراسـاس شـاخص حساسیت به تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش عملکـرد در محیط‌های مسـاعد گـردد (۵). کرمـی و همکـاران (۱۲) نیـز در شناسایی ارقـام متحمـل بـه خشـکی در جـو بیـان نمودنـد کـه ژنوتیپ‌های محتمل‌تر براسـاس شـاخص SSI لزومـاً پتانسـیل عملکرد بالایی نداشتند بلکه مکانیسم‌های تحمل تـنش رطـوبتی این ژنوتیپ‌ها سبب تفاوت کمتر عملکرد آنها در شـرایط تـنش نسبت به شرایط عدم تنش گردیده اسـت و در نتیجـه پایـداری عملکرد آنها در دو محیط مناسب بوده است.

براساس شاخص TOL ژنوتیپ PI 572426 از آمریکـا، C 4110 از اصفهان، PI 286199 از کویـت، AC-Sanset از کانـادا و PI 369845 از تاجیکستان با بیشترین کاهش عملکـرد دانـه در شرایط تنش خشکی کمترین تحمل را به شرایط کم آبـی نشـان دادند. هم‌چنین بر اساس این شـاخص ژنوتیـپ PI 387821 از تایلنـد، CART 55 از هلنـد، CART 49 از اسـپانیا و کوسـه اصفهان بـا کمتـرین افـت عملکـرد در شـرایط تـنش بـه‌عنـوان متحمل‌ترین ژنوتیپ بر اساس شاخص TOL مشخص گردیدند (نتایج نشان داده نشده است). شاخص TOL نیز به‌نوعی بیـانگر تغییر حاصل از اعمال تنش می‌باشد، به‌عبارتی ارقامی کـه دارای شاخص TOL کمتری هستند، در محیط تـنش تغییـر کمتـری از خود نشـان مـی‌دهنـد بـا ایـن حـال تنهـا پـایین بـودن مقـادیر شاخص‌های TOL برای یک ژنوتیپ به‌منزله مناسـب بـودن آن جهـت کشـت در شـرایط تـنش نیسـت، زیـرا ممکـن اسـت ژنوتیپ‌هایی یافت شوند که دارای حساسیت پایین بـه خشـکی باشند ولی دارای عملکرد پـایین در هـر دو شـرایط نیـز باشـند (۲۰).

براساس شاخص بهره‌وری متوسط (MP) که مقادیر بـالای

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه در شرایط عدم تنش و تنش خشکی

	Yp	Ys	SSI	TOL	MP	GMP	STI
Yp	۱						
Ys	۰/۳۵***	۱					
SSI	۰/۵۳***	-۰/۴۴***	۱				
TOL	۰/۶۳***	-۰/۵۰***	۰/۸۵***	۱			
MP	۰/۸۴***	۰/۸۰***	۰/۰۸ ns	۰/۱۲ ns	۱		
GMP	۰/۸۱***	۰/۸۳***	۰/۰۴ ns	۰/۰۶ ns	۰/۹۹***	۱	
STI	۰/۷۶***	۰/۸۱***	۰/۰۳ ns	۰/۰۳ ns	۰/۹۵***	۰/۹۶***	۱

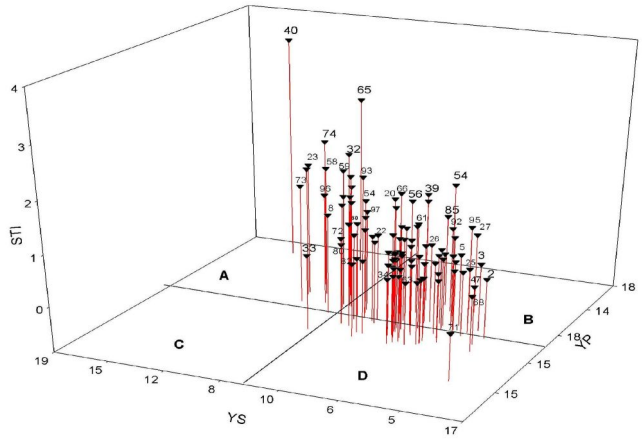
ns و *** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد

آن نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش می‌باشد، ژنوتیپ‌های PI 369847 از تاجیکستان، CART 56 از آمریکا، PI 657820 از اردن و PI 305527 از سودان بیشترین میزان و ژنوتیپ PI 537652 از مکزیک، PI 537652 از تاجیکستان، PI 470942 از بنگلادش و CART 70 از لیبی کمترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند (نتایج نشان داده نشده است). با توجه به این‌که شاخص MP، میانگین تولید در شرایط بدون تنش و شرایط تنش خشکی را نشان می‌دهد، انتخاب بر مبنای این شاخص منجر به افزایش عملکرد در هر دو شرایط محیطی تنش و عدم تنش می گردد، به شرطی که همبستگی عملکرد دانه در هر دو شرایط منفی نباشد (۲۰). این شاخص زمانی کارایی دارد که تنش شدید نبوده و اختلاف بین عملکرد شرایط عدم تنش و تنش زیاد نباشد (۲۶).

براساس شاخص‌های GMP و STI ژنوتیپ‌های PI 369847 از تاجیکستان، CART 56 از آمریکا، PI 657820 از اردن و PI 305527 از سودان با دارا بودن بیشترین میزان این دو شاخص بیشترین تحمل را به شرایط کم آبی نشان داد و ژنوتیپ‌های PI 537652 از مکزیک، CART 131 از پاراگوئه، PI 470942 از بنگلادش، PI 209286 از رومانی و CART 32 از آلمان کمترین مقدار این دو شاخص را به‌خود اختصاص دادند (نتایج نشان داده نشده است). بنابراین این ژنوتیپ‌ها کمترین تحمل را به شرایط کم آبی داشتند. طبق نظر فرناندز (۸) بر مبنای شاخص STI ژنوتیپ‌های که در هر دو محیط تنش و عدم تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) گزینش می‌شوند. در این مطالعه نیز شاخص GMP و STI به‌خوبی توانستند ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو محیط تنش و عدم تنش عملکرد بالایی داشتند را شناسایی کنند. در مطالعه حاضر شاخص MP نیز در شناسایی ژنوتیپ متحمل‌تر و پایدارتر مؤثر بود.

همبستگی بین شاخص‌ها

ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی گلرنگ در جدول ۴ ارائه شده‌است. همان‌طورکه بیان شد بهترین شاخص برای غربال کردن ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش رطوبتی، شاخصی است که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط رطوبتی داشته باشد (۲۱). ضرایب همبستگی نشان داد که سه شاخص MP، GMP و STI همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه در دو شرایط رطوبتی تنش و عدم‌تنش داشتند (جدول ۴). مجیدی و همکاران (۱۵) نیز در بررسی گونه‌های زراعی و وحشی گلرنگ همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سه شاخص تحمل به تنش MP، GMP و STI در شرایط تنش و عدم تنش خشکی مشاهده کردند. شاخص SSI همبستگی مثبت و معنی‌داری با



شکل ۱. نمودار سه بعدی بر اساس شاخص STI و عملکرد در شرایط عدم تنش و تنش خشکی در ژرم‌پلاسم گلرنگ داخلی و خارجی

عملکرد دانه در شرایط عدم تنش خشکی (r = ۰/۵۳) و همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط تنش (r = −۰/۴۴) خشکی نشان داد (جدول ۴). شاخص TOL نیز مانند شاخص SSI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط عدم تنش خشکی (r = ۰/۶۳) و همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط تنش (r = −۰/۵۰) خشکی داشت (جدول ۴). همبستگی این دو شاخص با عملکرد دانه و هم‌چنین همبستگی این دو شاخص با یکدیگر (r = ۰/۸۵) نشان می‌دهد انتخاب براساس این شاخص‌ها منجر به گزینش ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد کمتر در شرایط تنش خشکی می‌شود.

بررسی نمودار سه بعدی در شاخص‌ها

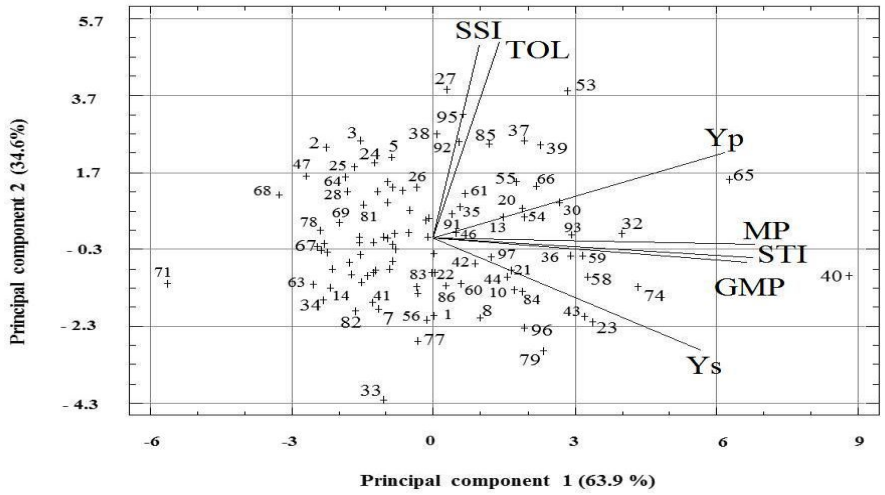
به‌منظور بررسی دقیق‌تر پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها و هم‌چنین دستیابی به ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط رطوبتی، از نمودار پراکنش سه بعدی استفاده گردید که در آن عملکر دانه در شرایط عدم تنش خشکی روی محور X و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی روی محور Y و شاخص STI روی محور Z نمایش داده شد (شکل ۱). شاخص STI ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالایی است. بنابراین طبق نظر فرناندز (۸) STI از بهترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌ها می‌باشد چون قادر است ژنوتیپ‌های گروه A را از B، C و D جدا کند. گروه A دارای ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط عدم تنش و تنش دارای عملکرد بالایی است که ژنوتیپ‌های PI 369847 (از تاجیکستان) و CART 56 (از آمریکا) در این ناحیه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های PI 653202 (از هند) و PI 369845 (تاجیکستان) در گروه B که شرایط بدون تنش عملکرد بالای دارند قرار گرفتند. در گروه C ژنوتیپ‌های قرار دارند که در شرایط تنش عملکرد بالایی دارند که ژنوتیپ‌های PI 305528 (از سودان) و PI 576991 (از آلمان) در این ناحیه قرار گرفتند. در گروه D ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد پایینی دارند قرار گرفتند که می‌توان به ژنوتیپ‌های PI 657800 (از چین) و PI 537652 (از مکزیک) اشاره کرد. از ژنوتیپ‌های ایرانی که در ناحیه A قرار گرفتند ژنوتیپ‌های S149 (از اصفهان)، توده کرمانشاه و در ناحیه B ژنوتیپ M 115 (از مرکزی) و AC-Sanset (معرفی‌شده از کانادا به ایران) را می‌توان نام برد (شکل ۱).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی

در این مطالعه از تجزیه بای‌پلات به‌منظور بررسی هم‌زمان کلیه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و عملکرد

جدول ۵. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی در گلرنگ

شاخص تحمل و حساسیت	PC1	PC2
Yp	۰/۵۹	۰/۰۶
Ys	۰/۳۰	-۰/۵۰
SSI	۰/۲۸	۰/۵۷
TOL	۰/۲۸	۰/۵۷
MP	۰/۴۶	-۰/۲۰
GMP	۰/۴۳	-۰/۲۵
STI	۰/۰۵	-۰/۰۳
تنوع توجیه شده	۶۳/۹	۳۴/۶
تنوع توجیه تجمعی	۶۳/۹	۹۸/۵



شکل۲. بای‌پلات بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم برای هفت شاخص تحمل و حساسیت به تنش خشکی در گلرنگ

دانه در هر دو محیط تنش و عدم‌تنش خشکی استفاده شد. بدین‌منظور ابتدا تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صورت گرفت سپس با ترسیم مؤلفه اول و دوم که روی هم رفته ۹۸ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند، بای‌پلات موردنظر ترسیم گردید. سهم مؤلفه اول در تبیین تغییرات کل شاخص‌ها برابر ۶۳/۹ درصد بود (جدول ۵) که این مؤلفه با عملکرد دانه در شرایط رطوبتی عدم‌تنش و تمامی شاخص‌ها همبستگی مثبت نشان داد در این مؤلفه عملکرد در شرایط عدم تنش و MP سهم بیشتری داشتند بنابراین مؤلفه اول به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد نام‌گذاری می‌شود. مؤلفه دوم ۳۴/۶ درصد از تغییرات کل شاخص‌ها را توجیه کرد (جدول ۵) و در این مؤلفه تمام شاخص‌ها جز شاخص TOL و SSI همبستگی مثبتی داشتند که سهم شاخص‌های TOL و SSI بیشتر بود بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان مؤلفه حساسیت به تنش نام‌گذاری کرد. انتخاب براساس این مؤلفه موجب گزینش ژنوتیپ‌هایی با تحمل پایین و حساسیت به خشکی بالا می‌گردد (۲۸). با این حال تنها پایین بودن مقادیر شاخص‌های SSI و TOL برای یک ژنوتیپ به‌منزله مناسب بودن آن جهت کشت در شرایط تنش نیست، زیرا ممکن است ژنوتیپ‌هایی یافت شوند که دارای حساسیت پایین به خشکی باشند ولی دارای عملکرد پایین در هر دو شرایط نیز

باشند (۱۹). ابراهیمیان و همکاران (۶) در بررسی شاخص‌های مقاومت به خشکی در جمعیت‌های فسکیوی بلند و نتاج پلی‌کراس آنها عنوان کردند که دو مؤلفه اول بیش از ۹۸ درصد تغییرات را توجیه کردند به‌طوری‌که مؤلفه اول همبستگی بالایی با Yp، Ys، MP، GMP و STI داشت که آن را پتانسیل عملکرد نامیدند و مؤلفه دوم را که همبستگی بالایی با TOL و SSI داشت را مؤلفه حساسیت نامیدند. در تحقیق ابوالحسنی و سعیدی (۱) پیرامون ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های گلرنگ، دو مؤلفه اول ۹۹ درصد از تغییرات را توجیه کردند، در مؤلفه اول با سهم ۷۲ درصد از کل تغییرات، متغیرهای Yp، Ys، MP، و STI دارای بزرگ‌ترین ضرایب بودند واین مؤلفه به‌عنوان پتانسیل تولید معرفی شد. در تحقیق گلپرور و پیربلوطی (۱۱) مؤلفه اول همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های STI، GMP و عملکرد ژنوتیپ‌ها داشت و به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی نام‌گذاری شد.

در نمایش گرافیکی بای‌پلات با توجه به زوایای شاخص‌ها (زاویه کمتر نشان‌دهنده همبستگی بالاتر)، شاخص‌های MP، GMP و STI و عملکرد دانه در هر دو شرایط رطوبتی همبستگی مثبت نشان دادند (شکل ۲). بنابراین، به‌کمک بای‌پلات شاخص‌های MP، GMP و STI نیز به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌گردند. با توجه به رابطه مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه پایین و سمت راست قرار دارند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدارتر به تنش خشکی و ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه بالا و سمت چپ بای‌پلات قرار گرفته‌اند به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس‌تر به تنش خشکی مشخص شدند. بنابراین، همان‌طورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود ژنوتیپ‌های PI 369847 (شماره ۴۰ از تاجیکستان) و PI 657820 (شماره ۷۴ از اردن) در مجاورت بهترین شاخص‌ها (STI و GMP) و در ناحیه سمت راست و پایین قرار گرفته‌اند، دارای تحمل بیشتر و عملکرد بالاتری هستند. در ناحیه سمت چپ و پایین، ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد کمتر و حساسیت کمتر نسبت به تنش خشکی قرار گرفتند که می‌توان ژنوتیپ‌های PI 537652 (شماره ۷۱ از مکزیک) و PI 653213 (شماره ٥٦ از چین) را نام برد. ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا و حساس به تنش خشکی هستند در ناحیه سمت راست و بالا قرار گرفته‌اند که می‌توان ژنوتیپ CART 56 (شماره ٦٥ از امریکا) و ژنوتیپ PI 572426 (شماره ۵۳ از آمریکا) را نام برد. ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه سمت چپ و بالا قرار دارند دارای حساسیت به تنش و عملکرد پایینی هستند که می‌توان ژنوتیپ‌های CART 131 (شماره ٦٨ از پاراگوئه) و PI 470942 (شماره۴۷ از بنگلادش) را نام برد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش در مطالعه ضرغامی در گلرنگ (۳۰)، منجم در کلزا (١٦)، سوری در نخود (۲۷)، و گل‌آبادی (۱۰) در گندم نیز استفاده شده است.

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌هایMP، GMP و STI دارای کارایی بیشتری در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گلرنگ بهاره بودند. ژنوتیپ‌های PI 369847 از تاجیکستان، CART 56 از آمریکا، PI 657820 از اردن و PI 305527 از سودان با دارا بودن بیشترین میزان این شاخص‌ها بیشترین تحمل را به شرایط کم آبی نشان دادند و ژنوتیپ‌های PI 537652 از مکزیک، CART 131 از پاراگوئه، PI 470942 از بنگلادش،PI 209286 از رومانی و CART 32 از آلمان کمترین مقدار این شاخص‌ها را به‌خود اختصاص دادند. با توجه به دارابودن منشاء متفاوت، این ژنوتیپ‌ها احتمالاً از آلل‌های متنوعی برای تحمل به خشکی برخوردار هستند و لازم است وجود تنوع آللی و یا مکانیسم‌های گوناگون مقاومت در این ژنوتیپ‌ها در تحقیقات آتی بررسی شود. به‌هرحال این ژنوتیپ‌ها منبع متنوعی از تحمل به خشکی را برای به‌نژادگر فراهم می‌کنند که در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود مقاومت به خشکی در گلرنگ قابل استفاده هستند.

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. Ahmadi, A., P. Ehsanzadeh and F. Jabbari. 2006. Introduction to Plant Physiology. University of Tehran. Tehran. Tehran (In Farsi).
3. Ascual-Villalobos, A. J. and N. Alburquerque. 1996. Genetic variation of a safflower germplasm collection grown as a winter crop in southern Spain. *Euphytica* 92: 327-332.
4. Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agriculture Research* 56: 1159-1168.
5. Dencic, S., R. Kastori, B. Kobiljski and B. Duggan. 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica* 113: 43-52.
6. Ebrahimiyan, M., M. M. Majidi, A. Mirlohi and M. Gheysari. 2012. Drought-tolerance indices in a tall fescue population and its polycross progenies. *Crop and Pasture Science* 63: 360-369
7. Ekin, Z. 2005. Resurgence of safflower (*Carthamus tinctorius*) utilization: a global view. *Agronomy Journal* 4: 83-87.
8. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. PP. 257-270. *In:* C. C. Kuo, (Eds.), *In:* Proceedings of International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Shanhua, Taiwan.
9. Fischer, R. A. and R. Mourer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivar, I: Grain yield responses. *Australian Journal of Agriculture Research* 29: 897-912.
10. 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 Research* 5: 162-171.
11. Golparvar, A. R. and A. G. Pirbalouti. 2008. Assessment of drought resistance of spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Esfahan province. *Journal of Research in Agricultural Science* 4: 11-20.
12. Karami, E., M. R. Ghannadha, M. R. Naghavi and M. Mardi. 2006. Detection of drought tolerant cultivars in barley. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 37: 371-379 (in Farsi).
13. Khalil Zadeh, Gh. R. and H. Karbalai Khiyav. 2002. Effects of drought and heat stress on advanced lines of durum wheat. *In:* Proceeding of 7th Congress of Agronomy and Plant Breeding of Iran. Agricultural Education Publishing. Karaj. pp: 564-563.
14. Knowles. P. F. 1958. Wild Safflower in California. California Agricultural Experiment Station Extension Service circular 532. University of California. California.
15. Majidi, M. M., V. Tavakoli, A. F. Mirlohi and M. R. Sabzalian. 2011. Wild safflower species (*Carthamus oxyacanthus* Bieb.): A possible source of drought tolerance for arid environments. *Australian Journal of Crop Sciences* 5:1055-1063.
16. Monajem, S., V. Mohammadi and A. Ahmadi. 2012. Evaluation of drought tolerance in some rapeseed cultivars based on stress evaluation indices. *Electronic Journal of crop Production* 4 (1): 151-169.
17. 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).
18. 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).
19. Ramirez, V. P and J. D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.
20. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
21. Sadeghzadeh-Ahari, D. 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotype. *Crop Science* 8: 30-45.
22. Shafazadeh, M. K., A. Yazdansepass, A. Amini and M. Ghanadha. 2004. Evaluation of tolerance terminal drought stressing promising winter and facultative bread wheat lines using stress susceptibility and tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal* 20: 57-71. (In Farsi).
23. Singh, R. and M. Singh. 1989. Response of safflower to moisture regimes, plant population and phosphorus. *Indian Journal of Agronomy* 34: 88-91.
24. Singh, S. P., H. Teran and J. A. Gutierez. 2001. Registration of SEA 5 and SEA 13 drought tolerant dry bean gerrmplasm. *Crop Science* 41: 276-277.

25. Singh, V. and N. Nimbkar. 2007. Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement series. PP: 167-194. *In:* R. J. Singh (Ed.), Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). CRC Press, London.
26. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98: 222–229.
27. Sori, J., H. Dehghani and S. H. Sabaghpor. 2005. Study of genotypes of chickpea in water stress condition. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 6: 1517-1527 (In Farsi).
28. Thomas, H., S. J. Dalton, C. Evans, K. H. Chorlton and I. D. Thomas. 1996. Evaluating drought resistance in germplasm of meadow fescue. *Euphytica* 92: 401-411.
29. Zare Feizabadi, A. and M. Ghodsi. 2002. Determination of drought tolerance of wheat lines in cold regions of Iran. *Journal of Science and Agricultural Industry* 16 (2): 181-189 (In Farsi).
30. Zarghami, R., M. Zahravi, A. Aslanzadeh and M. Abassali. 2012. Evaluation of autumn sown genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius*) for tolerance to drought stress. *Seed and Plant Improvement Journal* 3:339-355.