به زراعی کشاورزی
دوره ۱۶ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۳
صفحه‌های ۴۱-۲۳

شناسایی صفات مرتبط با تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) بومی مناطق گرم و خشک ایران

شکیبا شاهمرادی*، مهدی زهراوی

استادیار، بخش تحقیقات ژنتیک و بانک ژن گیاهی ملی ایران، مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر، کرج، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۲۷

چکیده

کاهش چشمگیر تنوع ژنتیکی در بسیاری از گونه‌های زراعی، توجه جهانی را به منشأ اولیهٔ ژن‌های جدید که اغلب در توده‌های بومی نهفته است و می‌تواند ژن‌های ارزشمندی برای تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده و صفات مطلوب اقتصادی باشد، جلب کرده است. در تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی واکنش توده‌های بومی جو زراعی در برابر خشکی و بررسی صفات مرتبط با تحمل تنش و درک روابط بین آنها، ۲۵ ژنوتیپ بومی اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک کشور از کلکسیون جو اهلی در بانک ژن گیاهی ملی ایران، به‌همراه سه رقم زراعی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در دو وضعیت آبیاری نرمال و قطع آبیاری (تنش خشکی) در مزرعهٔ تحقیقاتی مؤسسهٔ اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر ارزیابی شدند. صفات ارزیابی‌شده شامل صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و آگرونومیک بود. شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نیز برای ژنوتیپ‌ها محاسبه شد. با توجه به ضرایب همبستگی، شاخص STI بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گیاه جو شناخته شد. براساس این شاخص، ژنوتیپ‌های شمارهٔ ۲۵ (TN6711)، ۲۶ (رقم نصرت)، ۲۴ (TN6652/2) و ۱۶ (TN6436)، به‌ترتیب پرمحصول‌ترین ژنوتیپ‌ها در وضعیت نرمال و تنش خشکی شناسایی شدند. رگرسیون گام‌به‌گام بین شاخص تحمل تنش و صفات تحت ارزیابی، اهمیت فراوان صفات سطح ویژهٔ برگ پرچم، تعداد سنبلچه در سنبله، سطح برگ و تعداد روز تا گلدهی را در وضعیت تنش خشکی نشان داد. تنها صفتی که در وضعیت رطوبتی نرمال با شاخص تحمل به تنش ارتباط نزدیکی داشت، صفت وزن صددانه بود.

کلیدواژه‌ها: تحمل، جو، خشکی، ژرم‌پلاسم، شاخص.

* نویسنده مسئول Email: shakibafarzan@ yahoo.com

۱. مقدمه

به‌منظور استفاده از سرمایهٔ عظیم تنوع ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی، اطلاع از ماهیت و حد تنوع در ژرم‌پلاسم اهمیت زیادی دارد [۱]. مقاومت گیاهان در برابر آفات، بیماری‌ها و تنش‌های محیطی بستگی زیادی به تنوع ژنتیکی دارد [۲]. کاهش چشمگیر تنوع ژنتیکی در بسیاری از گونه‌های زراعی، توجه جهانی را به منشأ اولیهٔ ژن‌های جدید که اغلب در توده‌های بومی نهفته است و می‌تواند ژن‌های ارزشمندی برای صفات مقاومت به بیماری‌ها، محتوای پروتئین زیاد، مقاومت به خشکی و دیگر صفات مطلوب اقتصادی باشد، جلب کرده است [۱۱ ، ۱۸]. امروزه به‌نژادگران سعی در شناسایی و معرفی منابع ژنتیکی متحمل به تنش‌های محیطی دارند [۲۵].

ایران یکی از مراکز تنوع جو در خاورمیانه است که به‌دلیل تنوع ژنتیکی وسیع و بومی بودن جو در این منطقه اهمیت خاصی برای به‌نژادگران دارد. بسیاری از ارقام زراعی جوِ مورد کشت‌وکار در ایران، هنوز از ژنوتیپ‌های بومی هستند. توده‌های بومی جو از لحاظ ژنتیکی جمعیت‌های هتروژنی هستند که لاین‌های خالص و هیبریدهای با نسل‌های در حال تفرق و دارای دگرگشنی مختصر در هر نسل را دربرمی‌گیرد [۲۴]. به‌علاوه تکامل طی سال‌های متمادی تحت وضعیت طبیعی محیط و سیستم‌های کشاورزی محلی سبب شده است که این توده‌های بومی تنوع زیادی داشته و حاوی ذخایر ژنتیکی ثبت‌نشده‌ای از ژن‌های مفید برای سازگاری به تنش‌های زنده و غیرزنده باشند [۱۳]. محققان تاکنون تنوع ژنتیکی نمونه‌های کلکسیون عظیم ژرم‌پلاسم جو در ایکاردا [۱۴، ۲۲]، اسلواکی [۲۹]، عمان [۱۱ ، ۲۱]، ایران [۵ ، ۶]، اتیوپی [۲۳] و اریتره [۱۲] را ارزیابی کرده‌اند.

جو گیاهی مقاوم در برابر خشکی است و آب مورد نیاز برای تولید یک واحد وزن دانه در این گیاه کمتر از سه غلهٔ مهم دیگر (گندم، ذرت و برنج) است. این گیاه در نتیجهٔ دورهٔ رویشی کوتاه، کمتر از دیگر غلات آب مصرف می‌کند که این وضعیت بر صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری مؤثر است. ژنوتیپ‌های مختلف جو از نظر سازگاری به تنش خشکی متفاوتند [۲۶]. مرکز تحقیقات بین‌المللی کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA) در سال ۱۹۹۹ به بررسی، شناسایی و ارزیابی نمونه‌های مختلفی از گیاه جو بومی چند کشور خاورمیانه از جمله ایران پرداخت. ICARDA در بررسی ۱۵۹ نمونه جو، شامل ۷۳ نمونه از روسیه، ۴۵ نمونه از پاکستان و ۲۱ نمونه از افغاستان و ایران، تنوع زیادی را در زمان رسیدن نمونه‌ها گزارش کرد. تعدادی از نمونه‌های بومی ایران، نمونه‌های زودرس شناسایی شدند که در برنامه‌های اصلاحی با هدف مقاومت به خشکی آخر فصل، منابع ژنتیکی ارزشمندی هستند [۱۴].

بررسی تأثیر تنش خشکی بر ژنوتیپ‌های جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) نشان داد که ژنوتیپ‌های بومی مناطق خشک، کمتر از سایر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند [۲۰]. در تحقیقی تنوع عملکرد تحت شرایط دیم و آبی در ۸۹ ژنوتیپ جو بومی مناطق مختلف با استفاده از شاخص مقاومت به تنش خشکی بررسی شد [۲۶]. در بررسی آثار تنش خشکی بر رشد و عملکرد جو گزارش شد که تنش خشکی از طریق کاهش طول دورهٔ پر شدن دانه، کاهش تعداد پنجه، تعداد خوشه، تعداد دانه در گیاه و وزن دانه در گیاه، عملکرد دانه را کاهش داد [۲۸]. علاوه بر این، محققان گزارش کردند که تنش خشکی بر سطح ویژهٔ برگ اثر معناداری دارد [۹]. ۲۰ ژنوتیپ و دو رقم زراعی جو در دو وضعیت آبیاری نرمال و تنش رطوبتی مقایسه شده و صفات فیزیولوژیک و شاخص‌های تحمل به خشکی در این ژنوتیپ‌ها ارزیابی شد [۱۰]. نتایج این تحقیق نشان داد شاخص STI بهترین

شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی است. در بررسی شاخص‌های تحمل تنش خشکی در ژنوتیپ‌های جو وحشی (*Hordeum spontaneum*)، STI، GMP و MP بهترین شاخص‌ها معرفی شد [۳].

با توجه به محدودیت تحقیقات در زمینهٔ توده‌های کلکسیون جو بانک ژن گیاهی ملی ایران از لحاظ تحمل به خشکی و همچنین نحوهٔ سازگاری اکوتیپ‌های بومی مناطق گرم و خشک، ارزیابی تخصصی این منابع ژنتیکی در وضعیت تنش و شناسایی صفات مرتبط با تحمل به خشکی، به‌منظور دستیابی به والدهای متحمل و استفاده از آنها در تحقیقات کاربردی ضروری به‌نظر می‌رسد.

هدف پژوهش حاضر، ارزیابی تحمل به خشکی در بخشی از توده‌های بومی جو زراعی در بانک ژن گیاهی ملی ایران، شناسایی صفات مرتبط با تحمل به خشکی و تحلیل ماهیت ارتباط این صفات بود.

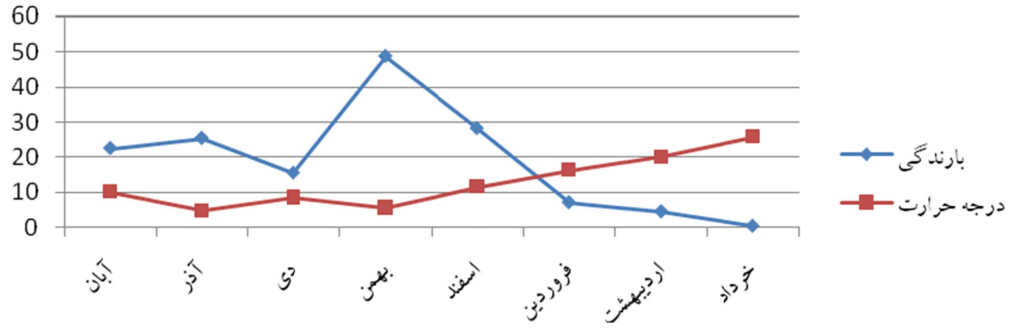
۲. مواد و روش‌ها

در پاییز سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹، ۲۵ ژنوتیپ از کلکسیون جو زراعی بانک ژن گیاهی ملی ایران که طی آزمایش‌های قبلی تحت وضعیت تنش خشکی انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به‌همراه سه رقم شامل یوسف به‌عنوان متحمل، و نصرت و ریحان به‌عنوان نیمه‌متحمل، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعهٔ آزمایشی مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر کرج کشت شدند. شهر کرج در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقهٔ شمالی واقع شده است. وضعیت اقلیمی کرج شامل درجهٔ حرارت و مقدار بارندگی براساس اطلاعات سازمان هواشناسی کشور در شکل ۱ ارائه شده است. هر واحد آزمایشی شامل سه خط دو متری با فاصلهٔ خطوط ۶۰ سانتی‌متر می‌شد. کشت ژنوتیپ‌ها در دو آزمایش جداگانه شامل آزمایش آبیاری کامل (شاهد) و قطع آبیاری (تنش خشکی) انجام گرفت. در آزمایش تنش خشکی، آبیاری تنها در دو مرحلهٔ کشت و استقرار گیاهان صورت گرفت و پس از آن تا پایان دورهٔ رشد قطع شد. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل ارتفاع بوته، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، روز تا ظهور سنبله، روز تا رسیدن، تعداد سنبلچه در سنبله، وزن صددانه و عملکرد دانه است که بعضی در مزرعه و برخی پس از برداشت ۸ سنبله به‌صورت تصادفی از هر کرت در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. به‌علاوه صفات فیزیولوژیکی شامل سطح برگ پرچم، وزن برگ پرچم و سطح ویژهٔ برگ پرچم(SLA)، در ژنوتیپ‌ها اندازه‌گیری شد تا اثر تنش خشکی در این ژنوتیپ‌ها به‌دقت بررسی شود. به این منظور از هر کرت ۸ برگ پرچم به‌طور تصادفی انتخاب شد و پس از اندازه‌گیری سطح آنها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter)، نمونه‌ها در آون در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شده و سپس به‌وسیلهٔ ترازوی حساس توزین شدند. سطح ویژهٔ برگ، از نسبت سطح برگ به وزن آن محاسبه شد.

تجزیهٔ مرکب صفات مختلف در ژنوتیپ‌ها، تحت وضعیت تنش خشکی و وضعیت نرمال با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و در برخی صفات، تبدیل داده اجرا شد، سپس میانگین صفات مقایسه شد تا علاوه بر بررسی آثار تنش خشکی بر صفات مختلف، ژنوتیپ‌های متحمل و حساس نیز تعیین شود. با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش [۱۶]، واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش اعمال‌شده بررسی شد. براساس همبستگی میان عملکرد در وضعیت تنش و شاهد، بهترین شاخص برای ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های تحت بررسی تعیین شد.

جدول ۱. شمارهٔ تمونه و محل جمع‌آوری ژنوتیپ‌های تحت بررسی از کلکسیون جو بانک ژن گیاهی ملی ایران

شماره	KC/TN	استان	شهر	شماره	KC/TN	استان	شهر
۱	KC-70013	کرمان	بم	۱۵	TN -6435	بوشهر	گناوه
۲	KC-70014	کرمان	بم	۱۶	TN -6436	بوشهر	گناوه
۳	KC-70015	کرمان	بم	۱۷	TN -6445	بوشهر	گناوه
۴	KC-70017	سیستان و بلوچستان	سراوان	۱۸	TN -6498	بوشهر	گناوه
۵	KC-70018	سیستان و بلوچستان	سراوان	۱۹	TN -6502	بوشهر	گناوه
۶	KC-70227	یزد	تفت	۲۰	TN -6505	بوشهر	گناوه
۷	KC-70503	کرمان	سیرجان	۲۱	TN -6507.2	بوشهر	گناوه
۸	TN-3272	یزد	تفت	۲۲	TN -6511	بوشهر	کنگان
۹	TN -4484	هرمزگان	بندر لنگه	۲۳	TN -6572.2	خراسان رضوی	سبزوار
۱۰	TN -4822	خراسان جنوبی	بیرجند	۲۴	TN -6652.2	خوزستان	رامهرمز
۱۱	TN -6104	یزد	یزد	۲۵	TN -6711	قم	قم
۱۲	TN -6230.2	بوشهر	گناوه	۲۶	نصرت (کارون * کویر)	-	-
۱۳	TN -6252.1	بوشهر	گناوه	۲۷	ریحان	-	-
۱۴	TN -6421	خراسان جنوبی	بیرجند	۲۸	یوسف(D5)	-	-



شکل ۱. روند تغییرات درجهٔ حرارت و بارندگی در سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ در مزرعهٔ پژوهشی کرج

شاخص‌های تنش شامل شاخص شدت تنش[1] (SI)، میانگین حسابی عملکرد[2] (MP)، تحمل[3] (TOL)، شاخص حساسیت به تنش[4] (SSI)، میانگین هندسی عملکرد[5] (GMP) و شاخص تحمل تنش[6] (STI) هستند [۱۶]. برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، نمودار سه‌بعدی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 رسم شد و برای تعیین روابط بین صفات تحت ارزیابی و شاخص‌های تنش، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودار بای پلات از نرم‌افزار STATGRAPHICS استفاده شد. تجزیهٔ رگرسیون گام‌به‌گام در نرم‌افزار SPSS 16 انجام گرفت.

1. Stress Intensity.
2. Mean Productivity
3. Tolerance
4. Stress Susceptibility Index
5. Geometric Mean Productivity
6. Stress Tolerance Index

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس مرکب صفات کمی ارزیابی‌شده در ۲۵ ژنوتیپ و ۳ رقم جو زراعی تحت وضعیت تنش خشکی و نرمال

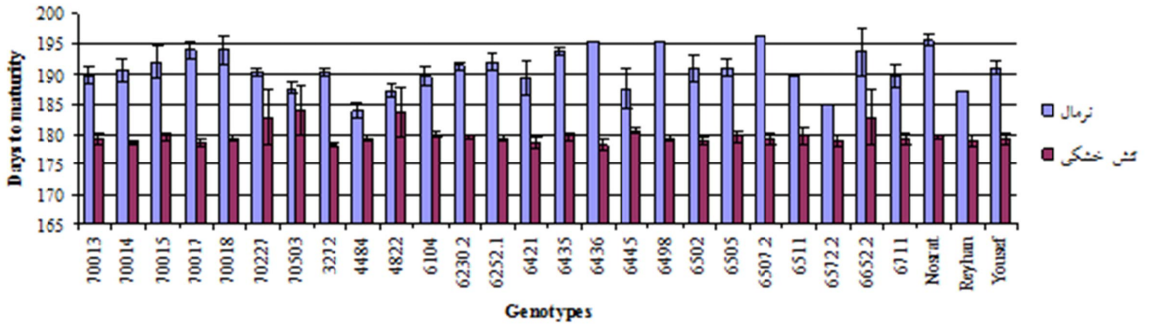
SOV	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات MS						
		تعداد سنبله در متر مربع	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (g/plot)	تعداد دانه در سنبله	ارتفاع بوته (cm)	شاخص برداشت (g/g)	طول سنبله (cm)
محیط	۱	۷۳/۳۳	۱/۷۸	۵۶۲۱۹۷/۸**	۷/۳۵**	۱۵۱/۸**	۱۰۷۹/۶۱**	۰/۱۷
خطای محیط	۴	۳۰/۱۲	۵/۳۲	۵۲۳۴۷/۸۰	۰/۰۸	۶۱/۶۱	۱۵۹/۰۷	۰/۰۵
ژنوتیپ	۲۷	۵۴/۳۷	۱/۴۴**	۹۷۰۰۸/۲۷**	۱/۴۱**	۱۱۹/۶**	۳۰۳/۳۵**	۰/۳۶۴
ژنوتیپ * محیط	۲۷	۶/۶۸	۰/۰۱	۳۱۹۵۵/۲۳**	۰/۱۲**	۳۸/۹۳	۱۱۲/۰۶	۰/۱۹
خطای آزمایشی	۱۱۲	۶/۴۴	۰/۰۰۷	۱۴۵۰۴/۷۴	۰/۰۶	۴۳/۶۳	۶۸/۴۳	۰/۱۷۶
ضریب تغییرات		۱/۷۸	۵/۳۲	۷/۶۰	۶/۱۰	۱۷/۵۲	۲۳/۰۵	۱۶/۷۱

* و ** به ترتیب معنادار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

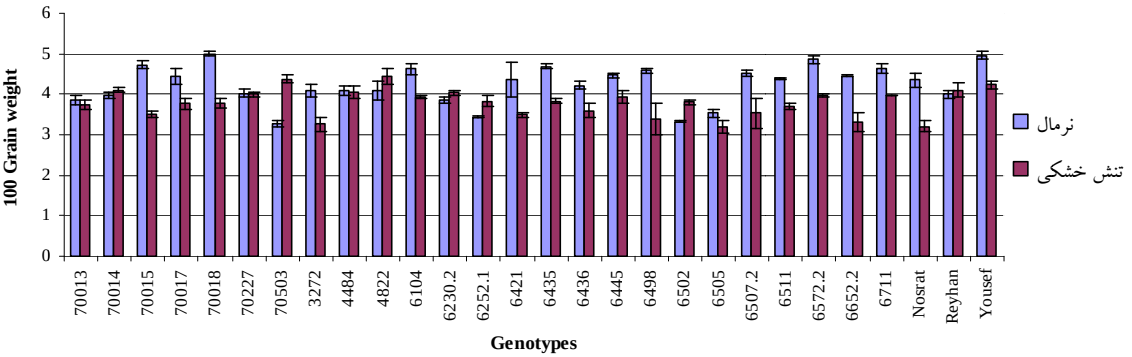
۳. نتایج و بحث

تجزیهٔ مرکب صفات تحت ارزیابی در ژنوتیپ‌های منتخب کلکسیون جو (جدول ۲) نشان داد اثر تنش بر صفات تعداد روز تا رسیدن، ارتفاع بوته، سطح ویژهٔ برگ پرچم، وزن صددانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنادار بود. همچنین ژنوتیپ‌ها از نظر تعداد روز تا ظهور اولین سنبله، روز تا رسیدن، شاخص سطح برگ پرچم، وزن برگ پرچم، ارتفاع بوته، سطح ویژهٔ برگ پرچم، وزن صددانه و عملکرد دانه تفاوت معناداری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. تنش خشکی تأثیر معناداری بر صفت تعداد روز تا گلدهی داشت که در سطح احتمال پنج درصد معنادار بود. اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ‌ها در صفات تعداد روز تا رسیدن، وزن صددانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنادار شد. این امر نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌ها در این صفات واکنش متفاوتی نسبت به تنش خشکی نشان دادند.

مقایسهٔ میانگین صفت تعداد روز تا رسیدن در ژنوتیپ‌ها در دو وضعیت رطوبتی نرمال و تنش خشکی (شکل ۲)، نشان می‌دهد که حد کاهش این صفت در اثر تنش خشکی در همهٔ ژنوتیپ‌ها یکسان نبوده است و برخی ژنوتیپ‌ها از جمله ژنوتیپ‌های TN۶۵۰۷/۲، TN۶۴۳۶، TN۶۴۹۸ و رقم نصرت در واکنش به تنش خشکی، دورهٔ رشد رویشی و زایشی خود را تا بیش از ۱۵ روز کاهش دادند. درحالی‌که ژنوتیپ‌های ۷۰۵۰۳ TN و TN ۴۸۲۲ در اثر تنش خشکی، کاهش معناداری در طول دورهٔ رشد رویشی و زایشی نشان ندادند. نکتهٔ شایان توجه در شکل ۲، کاهش شدیدتر صفت روز تا رسیدن تحت تأثیر تنش خشکی، در ژنوتیپ‌های دیررس‌تر است. بررسی اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ بر میانگین صفت وزن صددانه در شکل ۳ نشان می‌دهد که تنش خشکی اثر یکسانی بر وزن صددانهٔ ژنوتیپ‌های مختلف نداشته و در برخی ژنوتیپ‌ها موجب کاهش، و در برخی دیگر موجب افزایش وزن صددانه شده است و به‌نظر می‌رسد این وضعیت، ناشی از تفاوت در تخصیص منابع در ژنوتیپ‌های مختلف باشد.



شکل۲. مقایسهٔ میانگین صفت روز تا رسیدن در ۲۵ ژنوتیپ جو به‌همراه سه رقم شاهد در وضعیت نرمال و تنش خشکی

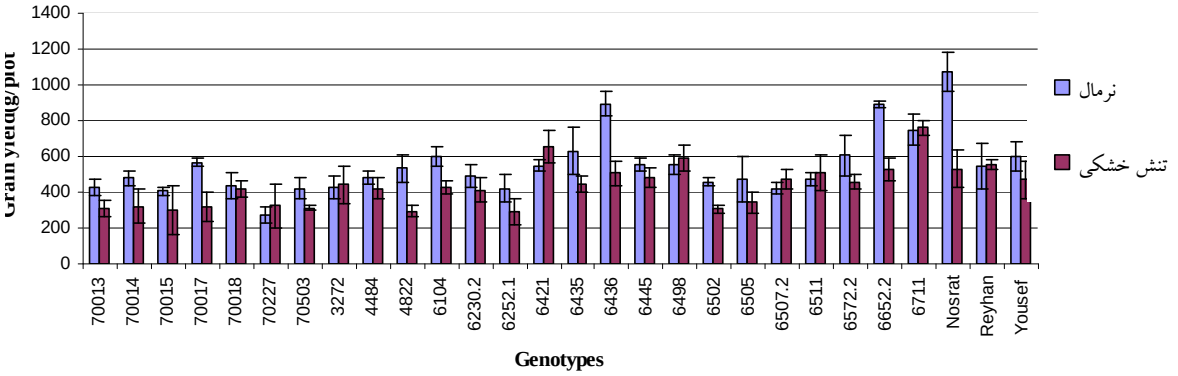


شکل۳. مقایسهٔ میانگین صفت وزن صددانه در ۲۵ ژنوتیپ جو به‌همراه سه رقم شاهد در وضعیت نرمال و تنش خشکی

بررسی اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ بر عملکرد دانهٔ جو در شکل ۴ ارائه شده است. کاهش عملکرد برخی ژنوتیپ‌ها در وضعیت تنش خشکی، شایان توجه است. همچنین در این شکل مشاهده می‌شود ژنوتیپ‌هایی نظیر شمارهٔ TN۶۴۳۶، TN۶۶۵۲/۲ و رقم نصرت که در وضعیت نرمال عملکرد دانهٔ زیادی تولید کردند، در وضعیت تنش خشکی کاهش عملکرد شدیدتری داشتند. ژنوتیپ شمارهٔ TN۶۷۱۱ در این شکل ژنوتیپ مطلوبی به‌نظر می‌رسد، چراکه کاهش عملکرد آن در وضعیت تنش خشکی کمتر از سایر ژنوتیپ‌ها است. از مقایسهٔ تغییرات میانگین صفت وزن صددانه و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش (شکل‌های ۳ و ۴) استنباط می‌شود که نحوهٔ تخصیص منابع در ژنوتیپ‌ها این دو صفت را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری‌که در ژنوتیپ‌هایی که در اثر تنش، صفت عملکرد دانه افت شدیدی را نشان داد، کاهش وزن صددانه مشاهده نشد یا حتی وزن صددانه افزایش یافت (ژنوتیپ‌های TN۴۸۸۲۲، TN۷۰۵۰۳ و TN۶۲۵۲). ژنوتیپ شمارهٔ TN۶۷۱۱ و رقم تجاری ریحان، ژنوتیپ‌های برتری بودند که هم در صفت وزن صددانه و هم عملکرد دانه، پایداری خوبی نشان دادند.

شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش در ژنوتیپ‌ها محاسبه شد (جدول ۳). براساس شاخص تحمل به تنش (STI)، ژنوتیپ‌های شمارهٔ ۲۵، ۲۶ (نصرت)، ۲۴ و ۱۶ به‌ترتیب متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در برابر تنش خشکی بودند. از سوی دیگر براساس شاخص تحمل (TOL) و شاخص حساسیت به تنش (SSI)، ژنوتیپ‌های ۲۶،۲۴ (نصرت) و ۱۶ جزء ژنوتیپ‌های حساس قرار می‌گیرند. ازاین‌رو به‌نظر می‌رسد ازآنجا که عملکرد پتانسیل در این سه ژنوتیپ زیاد است، با وجود افت عملکرد در وضعیت تنش خشکی، همچنان در رتبهٔ بالایی قرار دارند. این در حالی است که ژنوتیپ شمارهٔ ۲۵ هم براساس شاخص تحمل تنش، رتبهٔ بالایی دارد و هم براساس شاخص حساسیت به تنش، حساسیت کمی به خشکی نشان داده است و ژنوتیپ مطلوبی به‌نظر می‌رسد.

بررسی ضرایب همبستگی میان عملکرد در وضعیت نرمال (Y_P) و عملکرد در تنش(Y_S) با شاخص‌های تنش: SSI، MP، TOL، GMP و STI (جدول ۴) نشان‌دهندهٔ همبستگی بیشتر عملکردها با شاخص تحمل تنش(STI) و میانگین هندسی عملکرد(GMP) است، بنابراین این شاخص‌ها بهترین معیار برای مقایسهٔ ژنوتیپ‌ها در این آزمایش شناخته شدند [۱۶]. ازآنجا که فرمول محاسباتی این دو شاخص تا حدودی مشابه است، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس این دو شاخص نتایج مشابهی داشت.



شکل۴. مقایسهٔ میانگین صفت عملکرد دانه در ۲۵ ژنوتیپ جو به‌همراه سه رقم شاهد در وضعیت نرمال و تنش خشکی

جدول ۳. عملکرد پتانسیل و عملکرد تنش و شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش در ژنوتیپ‌های جو

No	TN	Yp	Ys	MP	TOL	SSI	GMP	STI
		عملکرد پتانسیل	عملکرد تنش	میانگین حسابی عملکرد	تحمل	شاخص حساسیت به تنش	میانگین هندسی عملکرد	شاخص تحمل تنش
۱	۷۰۰۱۳	۲۸۵	۲۰۸/۳	۲۴۶/۷	۷۶/۷	۱/۱۶	۲۴۳/۷	۰/۴۳
۲	۷۰۰۱۴	۳۱۸/۳	۲۱۵	۲۶۶/۷	۱۰۳/۳	۱/۴۰	۲۶۱/۶	۰/۴۹
۳	۷۰۰۱۵	۲۷۱/۷	۲۶۳/۳	۲۳۶	۷۱/۳	۱/۱۳	۲۳۳/۳	۰/۳۹
٤	۷۰۰۱۷	۳۷۸/۳	۲۱۱/۷	۲۹۵	۱۶۶/۷	۱/۹۰	۲۸۳	۰/۵۸
٥	۷۰۰۱۸	۲۹۰	۲۷۸/۳	۲۸۴/۲	۱۱/۷	۰/۱۷	۲۸۴/۱	۰/۵۸
٦	۷۰۲۲۷	۱۸۳/۳	۲۱۶/۷	۲۰۰	-۳۳/۳	-۰/۷۹	۱۹۹/۳	۰/۲۹
۷	۷۰۵۰۳	۲۸۱/۷	۲۰۸/۳	۲۴۵	۷۳/۳	۱/۱۳	۲۴۲/۲	۰/۴۲
۸	۳۲۷۲	۲۸۵	۲۹۵	۲۹۰	۱۰	۰/۱۵	۲۹۰	۰/۶۰
۹	۴۴۸۴	۳۲۰	۲۸۰	۳۰۰	۴۰	۰/۵۴	۲۹۹/۳	۰/۶۴
۱۰	۴۸۲۲	۳۵۵	۱۹۶/۷	۲۷۵/۸	۱۵۸/۳	۱/۹۳	۲۶۴/۲	۰/۵۰
۱۱	۶۱۰۴	۳۹۸/۳	۲۸۳/۳	۳۴۰/۸	۱۱۵	۱/۲۵	۳۳۵/۹	۰/۸۱
۱۲	۶۲۳۰	۳۳۰	۲۷۵	۳۰۲/۵	۵۵	۰/۷۲	۳۰۱/۲	۰/۶۵
۱۳	۶۲۵۲	۲۸۱/۷	۱۹۵	۲۳۸/۳	۸۶/۷	۱/۳۳	۲۴۳/۴	۰/۳۹
۱٤	۶۴۲۱	۳۶۶/۷	۴۳۶/۷	۴۰۱/۷	-۷۰	-۰/۸۳	۴۰۰/۱	۱/۱۵
۱٥	۶۴۳۵	۴۲۰	۲۹۵	۳۵۷/۵	۱۲۵	۱/۲۹	۳۵۲	۰/۸۹
۱٦	۶۴۳۶	۵۹۵	۳۳۶/۷	۴۶۵/۸	۲۵۸/۳	۱/۸۸	۴۴۷/۶	۱/۴۴
۱۷	۶۴۴۵	۳۷۰	۳۲۰	۳۴۵	۵۰	۰/۵۸	۳۴۴/۱	۰/۸۵
۱۸	۶۴۹۸	۳۷۰	۳۹۳/۳	۳۸۱/۷	۲۳/۳-	۰/۲۷-	۳۸۱/۵	۱/۰۵
۱۹	۶۵۰۲	۳۰۵	۲۰۵	۲۵۵	۱۰۰	۱/۴۲	۲۵۰	۰/۴۵
۲۰	۶۵۰۵	۳۱۳/۳	۲۶۱/۷	۲۷۰/۸	۸۵	۱/۱۷	۲۶۷/۵	۰/۵۱
۲۱	۶۵۰۷	۲۸۰	۳۱۳/۳	۲۹۶/۷	۳۳/۳-	۰/۵۱-	۲۹۶/۲	۰/۶۳
۲۲	۶۵۱۱	۳۱۵	۳۳۸/۳	۳۲۶/۷	۲۳/۳-	۰/۳۲-	۳۲۶/۵	۰/۷۷
۲۳	۶۵۷۲	۴۰۳/۳	۳۰۵	۳۵۴/۲	۹۸/۳	۱/۰۵	۳۵۰/۷	۰/۸۸
۲٤	۶۶۵۲	۵۹۳/۳	۳۵۱/۷	۴۲۷/۵	۲۴۱/۷	۱/۷۶	۴۵۶/۸	۱/۵۰
۲٥	۶۷۱۱	۵۰۰	۵۰۶/۷	۵۰۳/۳	۶/۷-	۰/۰۶-	۵۰۳/۳	۱/۸۲
۲٦	نصرت	۷۱۵	۳۵۳/۳	۵۳۴/۲	۳۶۱/۷	۲/۱۹	۵۰۲/۶	۱/۸۲
۲۷	ریحان	۳۶۳/۳	۳۶۸/۳	۳۶۵/۸	-۵	۰/۰۶-	۳۶۵/۸	۰/۹۶
۲۸	یوسف	۴۰۰	۴۱۳/۳	۳۵۶/۷	۸۶/۷	۰/۹۴	۳۵۴	۰/۹۰

جدول ۴. ضرایب همبستگی عملکرد در وضعیت نرمال و عملکرد تنش با شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش در ژنوتیپ‌های جو به‌روش پیرسون

		عملکرد پتانسیل	عملکرد تنش	میانگین حسابی عملکرد	تحمل	شاخص حساسیت به تنش	میانگین هندسی عملکرد	شاخص تحمل تنش
		YP	YS	MP	TOL	SSI	GMP	STI
عملکرد	YP	۱	۰/۴۴*	۰/۹۰**	۰/۷۵**	۰/۵۲**	۰/۸۵**	۰/۸۶**
عملکرد تنش	YS		۱	۰/۷۸**	-۰/۲۷	-۰/۴۹**	۰/۸۴**	۰/۸۲**

**** و* : همبستگی به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنادار است.**

جدول ۵. ضرایب همبستگی صفات در محیط نرمال (بالای قطر) و تنش (پایین قطر) با شاخص تحمل تنش (STI) در ژنوتیپ‌های جو به‌روش پیرسون

		STI	DS	DM	DF	PH	NSG	SPL	LA	LW	SLA	GW
شاخص تحمل تنش	STI	۱	-۰/۰۵	-۰/۱۵	-۰/۰۸	-۰/۰۷	۰/۳۵	۰/۳۰	-۰/۳۴	-۰/۲۷	-۰/۳۶	۰/۴۱*
روز تا ظهور خوشه	DS	۰/۰۶	۱	۰/۵۲**	۰/۷۰**	۰/۰۹	۰/۱۱	-۰/۱۴	۰/۴۲*	۰/۴۲*	۰/۴۱*	-۰/۲۱
روز تا رسیدن	DM	-۰/۰۵	۰/۴۷**	۱	۰/۳۶	۰/۰۵	-۰/۰۹	-۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۲	-۰/۲۲
روز تا گلدهی	DF	-۰/۲۷	۰/۳۷*	۰/۰۴	۱	-۰/۰۲	۰/۱۵	-۰/۰۳	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۷	-۰/۲۴
ارتفاع بوته (cm)	PH	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۱۳	۱	-۰/۱۶	-۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۲۹	-۰/۴۲*
تعداد سنبلچه در سنبله	NSG	۰/۴۷*	-۰/۲۰	-۰/۵۷**	-۰/۰۵	-۰/۴۰*	۱	۰/۷۹**	-۰/۲۹	-۰/۳۷*	-۰/۲۸	۰/۵۶**
طول سنبله (cm)	SPL	۰/۳۶	-۰/۲۳	-۰/۶۲**	-۰/۲۵	-۰/۲۵	۰/۷۹**	۱	-۰/۶۲**	-۰/۶۸**	-۰/۶۱**	۰/۴۴*
سطح برگ پرچم(cm^2)	LA	-۰/۴۳*	۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۱۳	-۰/۰۶	-۰/۱۹	-۰/۲۸	۱	۰/۹۷**	۰/۹۹**	-۰/۲۳
وزن برگ پرچم(g)	LW	-۰/۳۸*	۰/۲۵	۰/۵۴**	۰/۱۷	۰/۰۹	-۰/۳۸*	-۰/۴۸**	۰/۹۲**	۱	۰/۹۶**	-۰/۲۷
سطح ویژهٔ برگ پرچم(cm^2/g)	SLA	-۰/۴۷*	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۱۱	-۰/۱۱	-۰/۱۶	-۰/۲۴	۰/۹۹**	۰/۸۷**	۱	-۰/۲۲
وزن صددانه(g)	GW	۰/۴۱*	-۰/۲۳	-۰/۵۳**	-۰/۱۴	-۰/۴۵*	۰/۷۴**	۰/۶۱**	-۰/۱۵	-۰/۳۴	-۰/۱۲	۱

** و *: همبستگی به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنادار است.

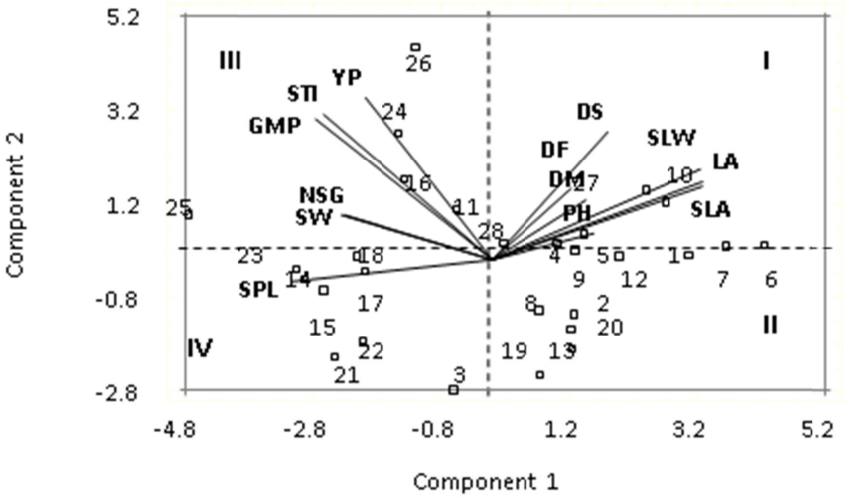
ضرایب همبستگی میان شاخص تحمل به تنش (STI) و صفات تحت ارزیابی در دو وضعیت رطوبتی نرمال و تنش خشکی در جدول ۵، نشان می‌دهد که در وضعیت رطوبتی نرمال، تنها صفتی که با شاخص تحمل به تنش همبستگی معنادار نشان داده است، صفت وزن صددانه است. این در حالی است که در وضعیت تنش خشکی، صفات بیشتری با شاخص تحمل همبستگی نشان داده‌اند که همگی در سطح احتمال ۵ درصد معنادار است. بالاترین ضرایب همبستگی با شاخص تحمل تنش، مربوط به صفت تعداد سنبلچه در سنبله (با علامت مثبت) و سطح ویژهٔ برگ پرچم (با علامت منفی) است. همبستگی مثبت و معنادار شاخص تحمل تنش با صفت تعداد سنبلچه در سنبله که از اجزای عملکرد است، منطقی و توجیه‌پذیر به‌نظر می‌رسد. از سوی دیگر، همبستگی منفی این شاخص با صفت سطح ویژهٔ برگ،

نشان‌دهندهٔ رابطهٔ معکوس این دو صفت و تأییدکنندهٔ سیستم تدافعی گیاه در کاهش سطح ویژهٔ برگ در تطابق با تنش خشکی است. علاوه‌بر این، صفات وزن برگ و سطح برگ پرچم نیز همبستگی منفی معناداری با شاخص تحمل داشتند. صفت وزن صددانه در وضعیت تنش خشکی نیز همبستگی مثبت معناداری با شاخص تحمل تنش نشان می‌دهد. این صفت تنها صفتی است که در هر دو وضعیت، با شاخص تحمل تنش همبستگی نشان داد.

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر داده‌ها و بررسی ارتباط میان شاخص‌های تنش و صفات تحت ارزیابی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در هر دو وضعیت رطوبتی به‌طور جداگانه صورت گرفت. تجزیه به مؤلفه‌ها در وضعیت رطوبتی نرمال (جدول ۶) نشان داد که پنج مؤلفه که مقادیر ویژهٔ بزرگ‌تر از یک دارند، در تشکیل ماتریس ضرایب شرکت کردند و در مجموع ۸۹/۰۱ درصد از واریانس صفات را توجیه می‌کنند. در مؤلفهٔ اول که ۴۰/۲۲ درصد از تغییرات مشاهده‌شده را به خود اختصاص داده، صفات برگ پرچم شامل سطح برگ، وزن برگ و سطح ویژهٔ آن بیشترین ضریب را در این مؤلفه دارند (جدول ۵). ۱۹/۱۴ درصد از واریانس توسط مؤلفهٔ دوم ایجاد شده و بزرگ‌ترین ضرایب مربوط به YP و شاخص‌های تنش شامل GMP و STI است، پس می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر منفی‌تر در مؤلفهٔ اول و مقادیر مثبت بالاتری در مؤلفهٔ دوم باشند، ژنوتیپ‌های متحمل‌تر از دیگر ژنوتیپ‌ها هستند. بزرگ‌ترین ضرایب مربوط به مؤلفهٔ سوم نیز مربوط به صفات فنولوژیک روز تا گلدهی، روز تا ظهور سنبله و روز تا رسیدن است. صفات آگرونومیک تعداد سنبلچه در سنبله و وزن صددانه نیز مؤثرترین صفات در مؤلفهٔ چهارم هستند.

جدول ۶. مقادیر ویژه، واریانس نسبی و ضرایب متغیرها برای پنج مؤلفهٔ اصلی در ژنوتیپ‌های جو در وضعیت رطوبتی نرمال

صفات		مؤلفه ۱	مؤلفهٔ ۲	مؤلفهٔ ۳	مؤلفهٔ ۴	مؤلفهٔ ۵
روز تا گلدهی	DF	۰/۱۴	۰/۲۱	−۰/۵۵	−۰/۲۵	−۰/۲۳
روز تا رسیدن	DM	۰/۱۶	۰/۱۷	−۰/۴۲	۰/۱۵	−۰/۰۱
روز تا ظهور سنبله	DS	۰/۲۰	۰/۳۷	−۰/۴۳	۰/۰۲	−۰/۰۸
میانگین هندسی عملکرد	GMP	−۰/۳۱	۰/۴۱	۰/۱۴	−۰/۱۷	۰/۰۵
سطح برگ پرچم(cm^2)	LA	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۰۳
تعداد سنبلچه در سنبله	NSG	−۰/۲۶	۰/۱۳	−۰/۲۲	۰/۵۲	۰/۳۳
ارتفاع بوته(cm)	PH	۰/۱۷	۰/۰۷	−۰/۰۳	−۰/۲۱	۰/۸۳
سطح ویژهٔ برگ پرچم (cm^2/g)	SLA	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۰۱
وزن برگ پرچم(g)	SLW	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۰۱
طول سنبله(cm)	SPL	−۰/۳۵	−۰/۰۶	−۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۳
شاخص تحمل تنش	STI	−۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۱۴	−۰/۱۸	−۰/۰۷
وزن دانه(g)	GW	−۰/۲۶	−۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۵۰	−۰/۲۴
عملکرد پتانسیل	YP	−۰/۲۲	۰/۴۷	۰/۱۸	−۰/۱۹	−۰/۰۹
مقادیر ویژه		۵/۲۳	۲/۴۸	۱/۴۷	۱/۳۷	۱/۰۰۱
واریانس نسبی		۴۰/۲۳	۱۹/۱۴	۱۱/۳۵	۱۰/۵۸	۷/۷۰

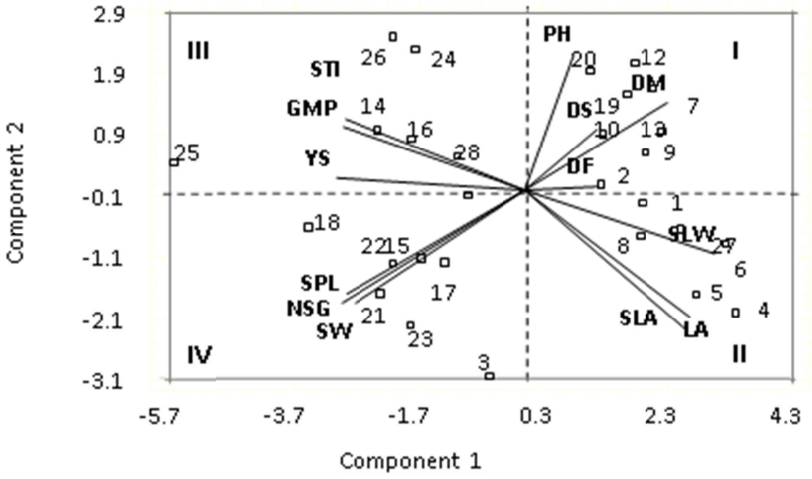


شکل ۵. نمودار بای پلات دو مؤلفهٔ اصلی برای صفات تحت ارزیابی و شاخص‌های تنش در ژنوتیپ‌های زراعی جو در وضعیت رطوبتی نرمال

مؤلفه‌های اول و دوم در مجموع ۵۹/۳۷ درصد از واریانس را توجیه می‌کنند. نمودار بای پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم براساس صفات تحت ارزیابی و شاخص‌های تنش در ژنوتیپ‌های جو در وضعیت نرمال (شکل ۵)، به‌وضوح ارتباط بین شاخص‌ها و صفات تحت ارزیابی را به نمایش گذاشته و ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را متمایز می‌کند. صفات فیزیولوژیک برگ پرچم شامل سطح و وزن برگ و سطح ویژهٔ آن در ربع اول نمودار قرار گرفته است، بنابراین ژنوتیپ‌های این ربع از جمله ژنوتیپ شمارهٔ ۱۰(TN۴۸۲۲)، به تنش حساسند. همان‌طور که ذکر شد، ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر منفی در مؤلفهٔ اول و مقادیر مثبت بالاتر در مؤلفهٔ دوم باشند، عملکرد بهتری در وضعیت نرمال و تنش خشکی دارند، ازاین‌رو ژنوتیپ‌هایی که در ربع سوم نمودار قرار دارند، نمونه‌های پرمحصول و ژنوتیپ‌های ربع دوم که مقادیر مثبت در مؤلفهٔ اول و مقادیر منفی در مؤلفهٔ دوم دارند، نمونه‌های با عملکرد کم هستند. شاخص‌های تنش شامل GMP، STI و عملکرد پتانسیل، عامل تمایز این دو گروهند که در ژنوتیپ‌های ۱۶ (TN۶۴۳۶)، ۲۴ (TN۶۶۵۲)، ۲۶ (نصرت) و ۲۵ (TN۶۷۱۱) کمیت بیشتری دارند. نزدیک بودن بردار صفات به شاخص‌های تنش، نشان‌دهندهٔ ارتباط نزدیک و همبستگی میان صفات و شاخص‌ها است. در شکل ۲، رابطهٔ نزدیک صفات وزن صددانه و تعداد سنبلچه در سنبله با شاخص تحمل به تنش (STI) قابل مشاهده است، چراکه در میان صفات تحت ارزیابی، بردار این صفت نزدیک‌ترین بردار به شاخص تحمل به تنش است (همبستگی این صفت با شاخص تحمل تنش در جدول ۵ نیز معنادار شده است).

تجزیه به مؤلفه‌ها در وضعیت تنش رطوبتی (جدول ۷)، چهار مؤلفه را که مقادیر ویژهٔ بزرگ‌تر از ۱ دارند معرفی می‌کند و این مؤلفه‌ها در مجموع ۸۲/۶۲ درصد از واریانس صفات را توجیه می‌کنند. ۴۱/۶۹ درصد از این واریانس به مؤلفهٔ اول اختصاص دارد و بزرگ‌ترین ضریب مربوط به وزن برگ پرچم با مقدار مثبت و شاخص‌های تنش شامل GMP و STI و همچنین عملکرد در وضعیت تنش (YS) با مقادیر منفی است (جدول ۷). ۱۷/۰۳ درصد از واریانس توسط مؤلفهٔ دوم ایجاد شده است و شاخص سطح برگ ویژه (SLA) و سطح برگ پرچم (LA)، در این مؤلفه نقش مهمی

دارند و ضرایب این صفات منفی است. همچنین صفت ارتفاع بوته با ضریب مثبت در این مؤلفه تأثیرگذار است. بزرگ‌ترین ضریب مربوط به مؤلفهٔ سوم، شاخص تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) است که ۱۴/۶۰ درصد از واریانس را به خود اختصاص داده است. صفات مؤثر در مؤلفهٔ چهارم صفات فنولوژیک هستند.



شکل۶. نمودار بای پلات دو مؤلفهٔ اصلی برای صفات تحت ارزیابی و شاخص‌های تنش در ژنوتیپ‌های زراعی جو در وضعیت تنش خشکی

جدول ۷. مقادیر ویژه، واریانس نسبی و ضرایب متغیرها برای پنج مؤلفهٔ اصلی در ژنوتیپ‌های جو در وضعیت تنش خشکی

صفات		مؤلفهٔ ۱	مؤلفهٔ ۲	مؤلفهٔ ۳	مؤلفهٔ ۴
روز تا گلدهی	DF	۰/۱۳	۰/۰۱	−۰/۰۲	−۰/۷۷
روز تا رسیدن	DM	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۱۱
روز تا ظهور سنبله	DS	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۳۴	−۰/۵۴
میانگین هندسی عملکرد	GMP	−۰/۳۲	۰/۱۹	۰/۴۲	۰/۰۶
سطح برگ پرچم(cm^2)	LA	۰/۲۹	−۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۰۹
تعداد سنبلچه در سنبله	NSG	−۰/۳۲	−۰/۳۳	۰/۱۱	−۰/۱۹
ارتفاع یوته(cm)	PH	۰/۰۸	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۰۸
سطح ویژهٔ برگ پرچم(cm^2/g)	SLA	۰/۲۸	−۰/۴۱	۰/۲۶	۰/۰۹
وزن برگ پرچم(g)	SLW	۰/۳۴	−۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۱۰
طول سنبله(cm)	SPL	−۰/۳۱	−۰/۳۱	−۰/۰۶	−۰/۰۴
شاخص تحمل تنش	STI	−۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۴۱	۰/۰۵
وزن دانه(g)	GW	−۰/۳۰	−۰/۳۳	۰/۱۱	−۰/۰۹
عملکرد تنش	YP	−۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۳۱	۰/۰۶
مقادیر ویژه		۵/۴۲	۲/۲۱	۱/۹۰	۱/۲۰
واریانس نسبی		۴۱/۶۹	۱۷/۰۳	۱۴/۶۰	۹/۲۶

نمودار بای پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم براساس صفات تحت ارزیابی و شاخص‌های تنش در ژنوتیپ‌های جو در وضعیت تنش خشکی (شکل ۶)، شباهت زیادی به وضعیت نرمال (شکل ۵) دارد، و تفاوتی که در این نمودار ملاحظه می‌شود، قرار گرفتن بردارهای صفت سطح برگ پرچم و سطح ویژهٔ آن در مقابل و جهت عکس بردار شاخص تحمل به تنش است. این وضعیت نشان می‌دهد که در وضعیت تنش خشکی، رابطهٔ معکوسی میان صفت سطح برگ و سطح ویژهٔ آن با تحمل به تنش خشکی به‌وجود می‌آید که در وضعیت رطوبتی نرمال وجود نداشت (همبستگی منفی این صفات با شاخص تحمل تنش در جدول ۵ معنادار شده است).

به‌منظور بررسی ارتباط شاخص تحمل به تنش (STI) با سایر صفات ارزیابی‌شده (به‌جز عملکرد دانه) تجزیهٔ رگرسیون به‌روش گام‌به‌گام در وضعیت آبیاری نرمال و تنش خشکی به‌طور جداگانه انجام گرفت (جدول‌های ۸ و ۹). نتایج نشان داد که مدل رگرسیون فقط در وضعیت تنش معنادار است. چهار صفت سطح ویژهٔ برگ پرچم (SLA)، سطح برگ پرچم (LAI)، تعداد سنبلچه در سنبله (NSG) و روز تا گلدهی (DF) وارد مدل رگرسیون STI در وضعیت تنش شدند (ضریب تبیین ۰/۷۹). ورود صفات مربوط به برگ پرچم (SLA و LAI) در مدل رگرسیون STI، اهمیت خصوصیات برگ پرچم در تحمل به تنش خشکی را نشان می‌دهد. همچنین صفت روز تا گلدهی (DF) با ضریب منفی، بیانگر اهمیت زودرسی در تحمل به تنش خشکی است.

جدول۸. تجزیهٔ رگرسیون گام‌به‌گام بین شاخص تحمل به تنش (STI) و صفات کمی تحت ارزیابی در وضعیت آبیاری نرمال

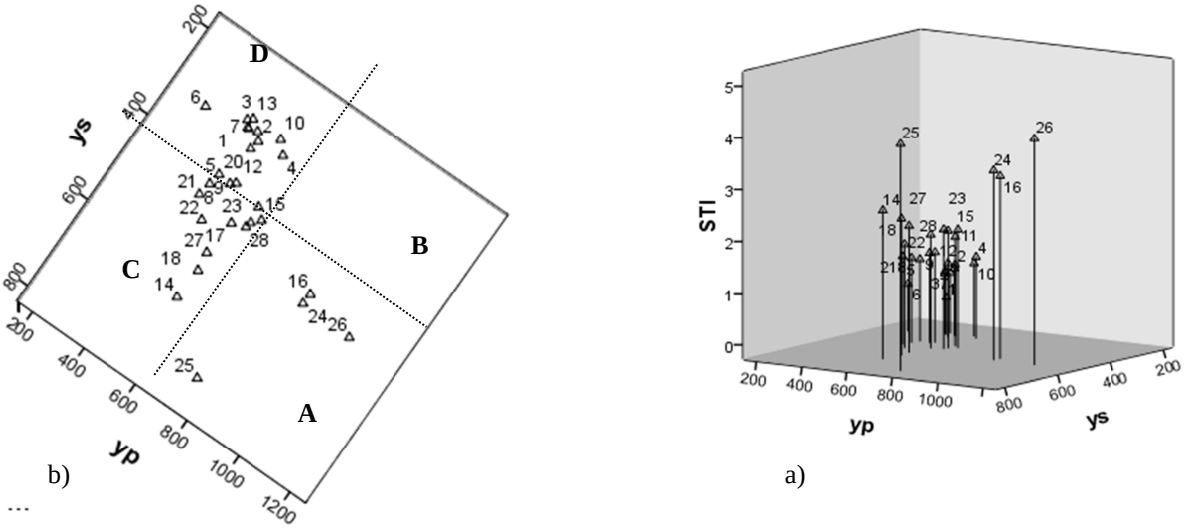
	معادلهٔ رگرسیون	R Square (Adjusted)
گام اول	STI = –۰/۷۲+ ۰/۳۶ (GW)	۰/۱۴

جدول۹. تجزیهٔ رگرسیون گام‌به‌گام بین شاخص تحمل به تنش (STI) و صفات کمی تحت ارزیابی در وضعیت تنش خشکی

	معادلهٔ رگرسیون	R Square (Adjusted)
گام اول	STI = ۱/۶۷- ۰/۰۰۳ (SLA)	۰/۴۷
گام دوم	STI = ۰/۶۶- ۰/۰۲ (SLA) + ۰/۰۵ (NSG)	۰/۶۱
گام سوم	STI = ۱/۷۷- ۰/۲۱ (SLA) + ۰/۷ (NSG) + ۰/۰۹ (LAI)	۰/۷۳
گام چهارم	STI = ۱/۷۷- ۰/۲۱ (SLA) + ۰/۷ (NSG) + ۰/۰۹ (LAI) - ۰/۰۲ (DF)	۰/۷۹

SLA : سطح ویژهٔ برگ پرچم NSG : تعداد سنبلچه در سنبله LAI : سطح برگ پرچم DF : تعداد روز تا گلدهی

به‌منظور گزینش مورفوتیپ‌های متحمل به خشکی و پرعملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش از دو نمودار سه‌بعدی استفاده شد (شکل ۷). برای نشان دادن روابط بین این سه متغیر و جدا کردن مورفوتیپ‌های گروه A از گروه‌های دیگر (B, C و D) و همچنین تشخیص سودمندی شاخص مورد نظر به‌عنوان معیاری برای انتخاب مورفوتیپ‌های پرمحصول و متحمل به خشکی، سطح نمودار X-Y به‌وسیلهٔ خطوط متقاطع به چهار گروه: A، B، C و D تقسیم شده است. براساس تعریف فرناندز [۱۶]، گروه A شامل ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در هر دو محیط تنش و بدون تنش تظاهر خوبی دارند و همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، در شرایط تنش خشکی اعمال‌شده در این آزمایش، ژنوتیپ‌های شمارهٔ ۱۶ (TN۶۴۳۶)، ۲۴ (TN۶۶۵۲)، ۲۵(TN۶۷۱۱) و ۲۶ (نصرت) در گروه A قرار گرفتند و ازاین‌رو در هر دو وضعیت، عملکرد بالایی تولید کردند. ژنوتیپ‌هایی که تنها در محیط بدون تنش تظاهر خوبی دارند، در گروه B قرار می‌گیرند، بنابراین این گروه شامل ژنوتیپ‌های حساس نسبت به تنش می‌شود و در این آزمایش با توجه به ارزیابی ژنوتیپ‌های بومی اقلیم گرم و خشک، همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، هیچ یک از ژنوتیپ‌ها در این گروه قرار نگرفت. گروه C شامل ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در محیط تنش عملکرد خوبی دارند و ژنوتیپ‌های ۲۷ (ریحان)، ۱۸ (TN۶۴۹۸) و ۱۴(TN۶۴۲۱) در این گروه قرار دارند، ازاین‌رو این ژنوتیپ‌ها سازگاری زیادی با وضعیت محدودیت رطوبتی دارند. ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش تظاهر ضعیفی دارند (گروهD) در شکل ۷–a نشان داده شده‌اند. البته شایان ذکر است که با توجه به فرضی بودن خطوط جداکنندهٔ این گروه‌ها، باید توجه داشت که برخی از نمونه‌های گروه A [۱۴،۲۴، ۲۶]، در مرز مشترک با گروه B قرار گرفته‌اند و ژنوتیپ ۲۵ (TN۶۷۱۱) در مرز مشترک با گروه C قرار دارد. ازاین‌رو به نظر می‌رسد حد تحمل به تنش در ژنوتیپ شمارهٔ ۲۵ بیشتر از سه ژنوتیپ دیگر گروه A باشد. براساس شاخص تحمل تنش(STI) نیز، ژنوتیپ‌های شمارهٔ ۲۵ (TN۶۷۱۱)،۲۶ (نصرت)، ۲۴ (TN۶۶۵۲) و ۱۶ (TN۶۴۳۶) به‌ترتیب متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی شناسایی شدند، چراکه کاهش عملکرد کمتری در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها داشتند (شکل ۷–b).



شکل۷. نمودار سه‌بعدی شاخص تحمل تنش (STI)، عملکرد در وضعیت نرمال (YP) و عملکرد در وضعیت تنش(YS). a: گروه‌بندی نمونه‌ها براساس عملکرد در وضعیت نرمال و عملکرد در وضعیت تنش؛ b: مقایسهٔ مقادیر شاخص تحمل تنش در ژنوتیپ‌ها.

گروه‌بندی ژنوتیپ‌های جو در تجزیهٔ خوشه‌ای با استفاده از روش K means انجام گرفت. در این روش نمونه‌ها در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند و برای بررسی تفاوت بین گروه‌ها از لحاظ صفات تحت بررسی، تجزیهٔ واریانس صورت می‌پذیرد. سپس همین کار با گروه‌های بیشتری انجام می‌گیرد. در نهایت بهترین گروه‌بندی حالتی خواهد بود که تفاوت بین گروه‌ها از لحاظ بیشترین تعداد صفات معنادار باشد. در این بررسی، بیشترین تعداد صفات معنادار با انجام گروه‌بندی سه‌گانه (در مجموع سه کلاستر) به‌دست آمد که به‌ترتیب ۴، ۹ و ۱۵ ژنوتیپ در آنها قرار گرفتند. گروه‌های مذکور از لحاظ شاخص‌های تحمل به تنش تحت بررسی و صفات عملکرد دانه، طول خوشه، تعداد ردیف، سطح برگ، وزن برگ، سطح ویژهٔ برگ پرچم، وزن صددانه (در وضعیت آبیاری نرمال)؛ و از لحاظ صفات عملکرد دانه، تاریخ رسیدن، تعداد خوشچه در خوشه، تعداد ردیف و وزن صددانه (در وضعیت تنش خشکی) دارای تفاوت معنادار بودند (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. میانگین گروه‌های تمایزیافته در تجزیهٔ خوشه‌ای به‌روش k means در ژنوتیپ‌های جو

	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
Yp	۲۹۹	۶۰۸	۳۹۱
Ys	۲۴۱/۵۶	۳۰۶/۲۵	۳۶۶
MP	۲۶۶/۸۴	۴۵۶/۸۸	۳۷۳/۳۳
TOL	۶۳/۴۲	۳۰۱/۲۵	۳۴/۶۷
SSI	۰/۸۴	۲/۱۶	۰/۳۶
GMP	۲۶۳/۳۴	۴۲۹/۴۳	۳۷۱/۴
STI	۰/۵۰	۱/۳۶	۱/۰۱
روز تا ظهور خوشه (نرمال)	۱۴۱/۱۶	۱۴۳	۱۴۰/۲۷
روز تا گلدهی (نرمال)	۱۵۱/۹۶	۱۵۲/۸۳	۱۵۲/۳۳
روز تا رسیدن (نرمال)	۱۸۰/۰۷	۱۸۱/۰۸	۱۷۹/۴۷
ارتفاع بوته (cm) (نرمال)	۷۶/۷۱	۷۳/۹۲	۷۵/۴۷
طول سنبله (cm) (نرمال)	۵/۷۳	۶/۷۱	۶/۸۸
سطح برگ پرچم(cm^2) (نرمال)	۶۹	۶۳	۴۹
وزن برگ پرچم(g) (نرمال)	۱/۵۹	۱/۵۸	۱/۵
سطح ویژهٔ برگ پرچم(cm^2/g) (نرمال)	۴۲/۵۰	۳۹/۴۵	۳۱/۹۴
وزن صددانه(g) (نرمال)	۴/۰۲	۴/۲۵	۴/۵۶
روز تا ظهور خوشه (تنش)	۱۴۲	۱۴۵	۱۴۱
روز تا گلدهی (تنش)	۱۵۲	۱۴۵	۱۵۱
روز تا رسیدن (تنش)	۱۹۱/۶۷	۱۹۴/۳۳	۱۸۸/۳۳
ارتفاع بوته (cm) (تنش)	۸۲	۸۷	۸۲
طول سنبله (cm) (تنش)	۵/۸	۶/۶	۶/۸
سطح برگ پرچم(cm^2) (تنش)	۵۹	۴۵	۵۱
وزن برگ پرچم(g) (تنش)	۱/۶۳	۱/۵۵	۱/۵۶
سطح ویژهٔ برگ پرچم(cm^2/g) (تنش)	۳۵/۶۴	۲۸/۶	۳۱/۸۸
وزن صددانه(g) (تنش)	۳/۵۱	۳/۶۷	۴/۳۲

ژنوتیپ‌های ۱۶، ۲۴، ۲۵ و ۲۶ در یک گروه واقع شدند. این ژنوتیپ‌ها، همان نمونه‌های برتر شناسایی‌شده در تجزیه‌های قبلی بودند؛ ازاین‌رو نتایج تجزیهٔ خوشه‌ای با نتایج سایر تجزیه‌ها در تطابق است. با بررسی میانگین صفات گروه‌های تمایزیافته در تجزیهٔ خوشه‌ای مشاهده می‌شود که گروه دوم (شامل ژنوتیپ‌های برتر) در وضعیت تنش خشکی دارای کمترین تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (به‌طور متوسط ۱۴۵ روز) و بیشترین تعداد روز تا رسیدن کامل (به‌طور متوسط ۱۹۴ روز) در مقایسه با دو گروه دیگرند. ازاین‌رو به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل برتری این ژنوتیپ‌های این گروه بر دیگر ژنوتیپ‌ها، طول بیشتر دورهٔ پر کردن دانه بوده است. به‌عبارت دیگر، این ژنوتیپ‌ها زودتر (و احیاناً قبل از تشدید آثار نامطلوب تنش خشکی و افزایش گرمای آخر فصل) به گل رفته‌اند و نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها، زمان بیشتری برای پر کردن دانه‌ها در اختیار داشته‌اند. حال آنکه گلدهی در ژنوتیپ‌های دیررس مصادف با گرما و تشدید تنش خشکی و کاهش باروری و در نتیجه کاهش عملکرد دانه شده است. نکتهٔ جالب توجه این است که تفاوت بین گروه‌های تجزیهٔ خوشه‌ای از لحاظ صفت تاریخ رسیدن کامل معنادار نشده است. این نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های متحمل از این سازوکار به‌طور اختصاصی در وضعیت تنش استفاده کرده‌اند. اهمیت صفت زمان گلدهی در وضعیت تنش خشکی با نتایج تجزیهٔ رگرسیون نیز در تطابق است.

توده‌های بومی جو از لحاظ ژنتیکی جمعیت‌های هتروزنی شامل لاین‌های خالص و هیبریدهایی با نسل‌های در حال تفرق و دارای دگرگشنی مختصر در هر نسل هستند [۲۴]. به‌علاوه تکامل طی سال‌های متمادی تحت وضعیت طبیعی محیط و سیستم‌های کشاورزی محلی سبب شده است که این توده‌های بومی، تنوع زیادی داشته و حاوی ذخایر ژنتیکی ثبت‌نشده‌ای از ژن‌های مفید برای سازگاری به تنش‌های زنده و غیرزنده باشند [۱۳]. ازآنجا که نمونه‌های تحت بررسی در این تحقیق، شامل ژنوتیپ‌های بومی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور می‌شدند، همان‌طور که انتظار می‌رفت همگی ژنوتیپ‌ها تحمل به‌نسبت زیادی به تنش خشکی نشان دادند و در مقایسه با ۳ رقم زراعی شاهد، اغلب آنها نیمه‌متحمل و متحمل بودند. همچنین گزارش شد که ژنوتیپ‌های بومی مناطق خشک، کمتر از دیگر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرند [۲۰]. این موضوع نشان‌دهندهٔ سازگاری اکولوژی ژنوتیپ‌های بومی هر منطقه با وضعیت اقلیمی و تنش‌های زیستی و غیرزیستی رایج در آن منطقه است.

براساس همبستگی شاخص‌های تنش و عملکرد نرمال و تنش، در این آزمایش شاخص STI بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در جو شناخته شد. با بررسی ژنوتیپ‌های جو وحشی تحت وضعیت تنش خشکی نیز، شاخص‌های GMP،MP، STI و HM، شاخص‌های مناسب گزارش شد [۳]. در دو پژوهش، شاخص STI مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی تحمل به خشکی گزارش شد [۵، ۱۰]. در این آزمایش براساس این شاخص، ژنوتیپ‌های شمارهٔ ۲۵ (TN۶۷۱۱) ، ۲۶ (رقم نصرت)، ۲۴ (TN۶۶۵۲/۲) و ۱۶ (TN۶۴۳۶) به‌ترتیب متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در برابر تنش خشکی شناسایی شدند. بررسی ضرایب همبستگی صفات مختلف در وضعیت‌های مختلف رطوبتی با شاخص تحمل تنش نشان داد که تنها صفتی که در وضعیت رطوبتی نرمال و تنش خشکی با شاخص تحمل به تنش همبستگی معنادار دارد، صفت وزن صددانه است. در تحقیقی صفت وزن دانه بدون در نظر گرفتن وضعیت محیطی در زمان پر شدن دانه، مناسب‌ترین معیار برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در جو معرفی شد [۱۷]. صفت سطح ویژهٔ برگ پرچم در وضعیت تنش خشکی همبستگی منفی با شاخص تحمل تنش داشت

که در وضعیت رطوبتی نرمال مشاهده نشد. از سوی دیگر کاهش معنادار سطح ویژهٔ برگ پرچم در اثر تنش خشکی، که توسط محققان نیز گزارش شده است [۹]، نشان‌دهندهٔ واکنش فیزیولوژیکی گیاه در سازگاری با وضعیت تنش خشکی است. ازاین‌رو به‌نظر می‌رسد برخی نمونه‌ها که توانایی بیشتری در سازگاری با عامل محیطی تنش خشکی داشته‌اند، سطح ویژهٔ برگ را کاهش داده‌اند تا شدت تعرق برگی را کاهش دهند و نمونه‌هایی که قادر به این تغییر نبوده‌اند، شاخص تحمل به تنش ضعیفی داشته‌اند. نتایج رگرسیون گام‌به‌گام بین شاخص تحمل تنش و صفات تحت ارزیابی، اهمیت زیاد صفات سطح ویژهٔ برگ پرچم و سطح برگ آن را در وضعیت تنش خشکی نشان می‌دهد و همچنین تنها صفتی که در وضعیت رطوبتی نرمال نیز با شاخص تحمل به تنش ارتباط نزدیکی دارد، صفت وزن صددانه است.

با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی‌شده در این تحقیق، از مناطق مختلفی جمع‌آوری شده‌اند (۶۷۱۱ TN از قم، ۶۶۵۲/۲ TN از رامهرمز و ۶۴۳۶ TN از بندر گناوه)، به‌نظر می‌رسد این ژنوتیپ‌ها در اثر سازگاری با اقلیم محل زندگی خود دستخوش تغییرات ژنتیکی شده‌اند تا بتوانند به‌خوبی با وضعیت محیطی تطابق یابند. گزراش شده است که بین ژنوتیپ‌های متحمل جو، تنوع ژنتیکی زیادی وجود دارد و با اجرای تلاقی‌های مرکب می‌توان ژنوتیپ‌هایی با تحمل بیشتر تولید کرد که تعداد بیشتری از ژن‌های تحمل به خشکی را دارا باشند [۷]. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های بومی از جمله ژنوتیپ شمارهٔ ۲۵ (TN۶۷۱۱) که طی سالیان متمادی با وضعیت اقلیمی منطقهٔ خود سازگار شده‌اند و تحت وضعیت طبیعی و سیستم‌های کشاورزی محلی تکامل یافته‌اند، دارای ذخایر ژنتیکی ارزشمند و سازگاری وسیعی هستند که آنها را برای به‌نژادگران جالب توجه می‌کند.

سپاسگزاری

این آزمایش در قالب پروژهٔ ملی مصوب به شمارهٔ ۸۵۱۴۷-۰۰۰۰-۲۵-۱۲۰۰۰۰-۱۰۰-۰ و با استفاده از امکانات و اعتبارات مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر و بخش تحقیقات ژنتیک و ذخایر توارثی گیاهی اجرا شده است. ازاین‌رو لازم است از تلاش و مساعدت کلیهٔ مسئولان و همکاران در اجرای این پروژه، به‌ویژه جناب آقای محمد آقاعلیخانی، تشکر و قدردانی شود.

منابع

۱. رجبی ا، مقدم م، رحیم‌زاده خویی ف، مصباح م و رنجی ذ. (۱۳۸۱) ارزیابی تنوع ژنتیکی در توده های چغندرقند برای صفات زراعی و کیفیت محصول. علوم کشاورزی ایران. ۳۳(۳): ۵۵۳-۵۶۷.

۲. رودبار کلاری ف، فرشادفر ع و قره یاضی ب (۱۳۸۰) بررسی تنوع ژنتیکی برنج های ایرانی با استفاده از نشانگر رپید. علوم زراعی ایران. ۳(۴): ۸-۱۵.

۳. زهراوی م (۱۳۸۸) ارزیابی ژنوتیپ های جو اسپانتانئوم (*Hordeum spontaneum*) از نظر شاخص های تحمل به خشکی. به‌نژادی نهال و بذر (نهال و بذر). ۲۵-۱(۴): ۵۳۳-۵۴۹.

٤. شاه مرادی ش، زینالی خانقاه ح، دانشیان ج، خدابنده ن و احمدی ع. (۱۳۸۸) بررسی اثرات تنش خشکی در ارقام و لاین های پیشرفته سویا با تاکید بر شاخص های تحمل به تنش. علوم گیاهان زراعی ایران (علوم کشاورزی ایران). ۴۰(۳):۹-۲۲.

۵. شاه مرادی ش، شفاالدین س ویوسفی ا. (۱۳۹۰) تنوع فنوتیپی اکوتیپ های جو بومی مناطق گرم و خشک ایران به نژادی نهال و بذر (نهال و بذر). ۲۷-۱(۴): ۴۹۵-۵۱۵.

٦. شـــفاالدین س (۱۳۸۱) بررســـی تنـــوع ژنتیکـــی و جغرافیایی ژرم پلاسـم جوهـای بـومی منـاطق شـمال کشور بر اساس صفات زراعی و مورفولوژیکی. علـوم کشاورزی ایران. ۳۳(۳): ۵۶۹-۵۸۱.

۷. کرمی ع ، قنادها م ر ، نقوی م ر و مـردی م. (۱۳۸۴) ارزیابی مقاومت به خشکی در جـو. علـوم کشـاورزی ایران. ۳۶(۳): ۵۴۷-۵۵۶.

۸. کوچکی ع (۱۳۷۶). زراعت در مناطق خشک. چـاپ سوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۰۲ صفحه.

۹. منجم س ، احمـدی ع و محمـدی و. (۱۳۸۹) اثـرات تـنش خشـکی در مراحـل زایشـی بـر تسـهیم مـواد فتوســنتزی ارقــام تجــاری کلــزا. تولیــد گیاهــان زراعی. ۳(۳): ۱۶۳-۱۷۸.

۱۰. ویسی مال امیری ا ، حق پرست ر ، آقایی سـربرزه م ، فرشـادفرع و رجبـی ر. (۱۳۸۹) ارزیـابی تحمـل بـه خشکی ژنوتیپ های جو (*Hordeum vulgare* L.) بـا استفاده از خصوصیات فیزیولوژیکی و شـاخص هـای تحمل بـه خشـکی. بـه نـژادی نهـال و بـذر (نهـال و بذر). ۲۶-۱(۱): ۴۳-۶۰.

11. Al Khanjari S Filatenko A and Hammer K (2008) Morphological spike diversity of Omani wheat. Genetic Resources and Crop Evolution. 55(8): 1185-1195.

12. Backes G Orabi J and Woldoy A (2009) High genetic diversity revealed in barley (*Hordeum vulgare*) collected from small scale farmer's fields in Eritrea. Genetic Resources and Crop Evolution. 56(1): 85-97.

13. Brush S B (1995) In situ conservation of landraces in center of crop diversity. Crop Science. (35): 346-354.

14. Ceccarelli S Grando S Vivar H Yahyaoui A (1999) The ICARDA Strategy for Global Barley Improvement. RACHIS Newsletter. 18(2): 3-13.

15. Ceccarelli S and Mekni M S (1985) Barley breeding for areas receiving less than 250 mm annual rainfall. RACHIS (ICARDA); Barley, Wheat and Triticale Newsletter. 4(2): 3-9.

16. Fernandez G C J (1992) Effective Selection Criteria for Assessing Plant Stress Tolerance.pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.) Adaptation of food to temperature and water stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan.

17. Gallagher J N Biscoe P V and Scott R K (1975) Barley and its environmaent. V. Stability of grain weight. Applied Ecology. 24: 261-278.

18. Haussmann B I G Parzies H K Presterl T Susic Z and Miedaner T (2004) Plant genetic resources in crop improvement. Plant Genetic Resources. 2(1): 3-21.

19. IPGRI (1994).Descriptor for barley (*Hordeum vulgare* L.). International plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

20. Ivandic V C Hackett A Zhang Z J Staub J E Nevo E Thomas W T B and Forster B P (2000) Phenotypic responses of wild Barley to experimentally imposed to water stress. Experimental Botany. 51(353): 2021-2029.

21. Jaradat A Shahidb A M and Al Maskric A Y (2004) Genetic Diversity in the Batini Barley Landrace from Oman I. Spike and Grain Quantitative and Qualitative Traits. Crop Science. 44: 304-315.

22. Jilal A Grando S Henry R J Slade lee L Rice N Hill H Baum M and Ceccarelli S (2008) Genetic diversity of ICARDA's world wide barley landrace collection. Genetic resources and crop evolution. 55: 1221-1230.

23. Negassa M (1985) Patterns of phenotypic diversity in an Ethiopian barley collection and the Arussi-Bale high land as a center of origin of barley. Hereditas. 102: 139-150.

24. Nevo E (1992) Origin, evolution, population genetics and resources for breeding of wild barley, *Hordeum spontaneum*, in the Fertile Crescent. In: Barley: Genetics, Molecular Biology and Biotechnology, Shewry, P. (ed.). C.A.B. International. pp: 19-43.

25. Pickering R and Johnston P A (2005) Recent progress in barley improvement using wild species of *Hordeum*. Cytogenetic Genome Research, 109: 344-349.

26. Rasmusson D C (1985) Barley. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Publishers, Madison, Wisconsin.

27. Rizza F Badeck F W Cattivelli L Lidestri O Difonzo N and Stanca A M (2004) Use of a water stress index to identify Barley genotypes adapted.Crop science. 44: 2127-2137.

28. Samarah N H (2005) Effects of drought stress on growth and yield of Barley. Agronomy for Sustainable Development. 25: 145-149.

29. Zakova M and Benkova M (2004) Genetic diversity of genetic resources of winter barley maintained in the gene bank in Slovakia. Genetic Plant Breeding. 40(4): 118-126.