



## به زراعی کشاورزی

دوره ۱۶ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۳

صفحه‌های ۲۳-۴۱

# 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، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۲۷

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱۵

### چکیده

کاهش چشمگیر تنوع ژنتیکی در بسیاری از گونه‌های زراعی، توجه جهانی را به منشأ اولیه 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 به منظور 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، به همراه سه رقم زراعی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در دو وضعیت آبیاری نرمال و قطع آبیاری (تنش خشکی) در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر ارزیابی شدند. صفات ارزیابی شده 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 شماره ۲۵ (TN۶۷۱۱)، ۲۶ (رقم نصرت)، ۲۴ (TN۶۶۵۲/۲) و ۱۶ (TN۶۴۳۶)، به ترتیب پرمحصول‌ترین ژنوتیپ‌ها در وضعیت نرمال و تنش خشکی شناسایی شدند. رگرسیون گام‌به‌گام بین شاخص تحمل تنش و صفات تحت ارزیابی، اهمیت فراوان صفات سطح ویژه برگ پرچم، تعداد سنبلچه در سنبله، سطح برگ و تعداد روز تا گلدهی را در وضعیت تنش خشکی نشان داد. تنها صفاتی که در وضعیت رطوبتی نرمال با شاخص تحمل به تنش ارتباط نزدیکی داشت، صفت وزن صدانه بود.

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

## ۱. مقدمه

به منظور استفاده از سرمایه عظیم تنوع ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی، اطلاع از ماهیت و حد تنوع در ژرم پلاسما 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 اولیه 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 به دلیل تنوع ژنتیکی وسیع و بومی بودن جو در این منطقه اهمیت خاصی برای به‌نژادگران دارد. بسیاری از ارقام زراعی جو مورد کشت و کار 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 دگرگشتی مختصر در هر نسل را در برمی‌گیرد [۲۴]. به علاوه 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 ژرم پلاسما جو در ایکاردا [۱۴، ۲۲]، اسلواکی [۲۹]، عمان [۱۱، ۲۱]، ایران [۵، ۶]، ایتالی [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

غله مهم دیگر (گندم، ذرت و برنج) است. این گیاه در نتیجه دوره 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 افغانستان 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 دوره 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 ویژه 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 زمینه توده‌های کلکسیون جو بانک ژن گیاهی ملی ایران از لحاظ تحمل به خشکی و همچنین نحوه سازگاری اکوتیپ‌های بومی مناطق گرم و خشک، ارزیابی تخصصی این منابع ژنتیکی در وضعیت تنش و شناسایی صفات مرتبط با تحمل به خشکی، به منظور دستیابی به والد‌های متحمل و استفاده از آنها در تحقیقات کاربردی ضروری به نظر 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

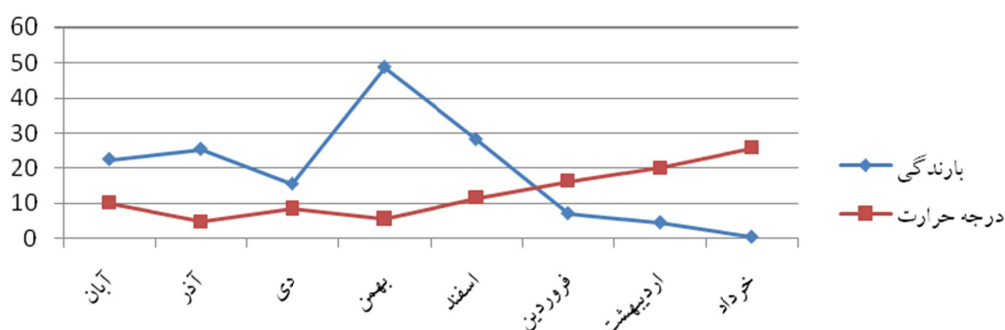
در پاییز سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹، ۲۵ ژنوتیپ از کلکسیون جو زراعی بانک ژن گیاهی ملی ایران که طی آزمایش‌های قبلی تحت وضعیت تنش خشکی انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به همراه سه رقم شامل یوسف به عنوان متحمل، و نصرت و ریحان به عنوان نیمه متحمل، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آزمایشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج کشت شدند. شهر کرج در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی واقع شده است. وضعیت اقلیمی کرج شامل درجه حرارت و مقدار بارندگی براساس اطلاعات سازمان هواشناسی کشور در شکل ۱ ارائه شده است. هر واحد آزمایشی شامل سه خط دو متری با فاصله خطوط ۶۰ سانتی متر 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 مرحله کشت و استقرار گیاهان صورت گرفت و پس از آن تا پایان دوره رشد قطع شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، روز تا ظهور سنبله، روز تا رسیدن، تعداد سنبلچه در سنبله، وزن صدانه و عملکرد دانه است که بعضی در مزرعه و برخی پس از برداشت ۸ سنبله به صورت تصادفی از هر کرت در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. به علاوه صفات فیزیولوژیکی شامل سطح برگ پرچم، وزن برگ پرچم و سطح ویژه برگ پرچم (SLA)، در ژنوتیپ‌ها اندازه‌گیری شد تا اثر تنش خشکی در این ژنوتیپ‌ها به دقت بررسی شود. به این منظور از هر کرت ۸ برگ پرچم به طور 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 درجه سانتی‌گراد خشک شده و سپس به وسیله ترازوی حساس توزین شدند. سطح ویژه برگ، از نسبت سطح برگ به وزن آن محاسبه شد.

تجزیه 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 اعمال شده 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. شماره 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 درجه حرارت و بارندگی در سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ در مزرعه پژوهشی کرج

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. تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در نرم‌افزار SPSS 16 انجام گرفت.

شاخص‌های تنش شامل شاخص شدت تنش<sup>۱</sup> (SI)، میانگین حسابی عملکرد<sup>۲</sup> (MP)، تحمل<sup>۳</sup> (TOL)، شاخص حساسیت به تنش<sup>۴</sup> (SSI)، میانگین هندسی عملکرد<sup>۵</sup> (GMP) و شاخص تحمل تنش<sup>۶</sup> (STI) هستند [۱۶]. برای

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

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

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

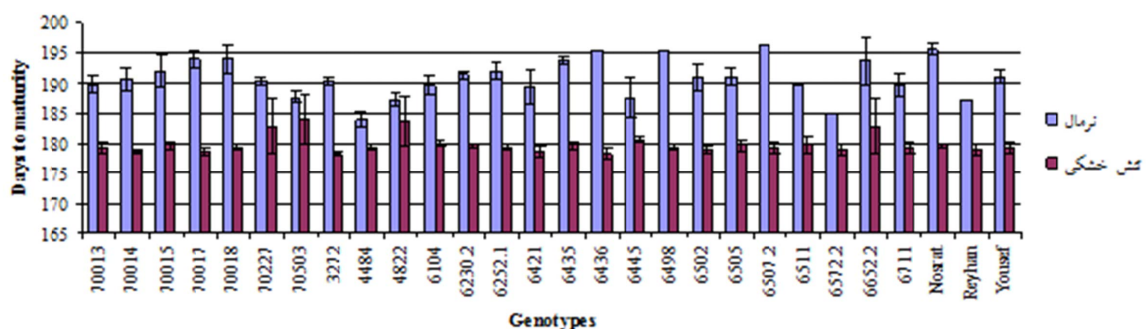
میانگین مربعات MS										
عامل درجه آزادی	وزن حبه (g)	طول سنبله (cm)	سطح ویترو (cm <sup>2</sup> /g)	ارتفاع یونجه (cm)	مجموعه سنبله (g)	میانگین یونجه (g)	میانگین سنبله (cm)	میانگین ویترو (cm <sup>2</sup> /g)	میانگین ارتفاع (cm)	میانگین مجموعه (g)
محیط	۷۳/۳۳	۱	۷۶/۰۶	۴۹/۲۹/۱**	۲۰/۳۸	۲۰/۷۲/۰۲	۱۵۱/۱۸/۱**	۱۰۷/۹/۶۱**	۱۰۷	۷/۳۵**
خطای محیط	۳۰/۱۲	۳	۱۲۹/۸/۸	۱۳/۹/۸	۰/۲۷	۶۲۶/۲۴	۶۱/۶/۱	۱۵۵/۰/۷	۰/۵	۰/۸
ژنوتیپ	۲۷	۲۷	۱۰۶/۴۵*	۲۹/۰/۶**	۰/۴۴**	۱۲۲/۸/۹۶**	۱۱۹/۶/۶**	۳۰۳/۳/۵**	۰/۳۶۴	۱/۴۱**
ژنوتیپ * محیط	۲۷	۲۷	۷۴/۵/۳	۲۳/۰/۴**	۰/۰۱	۴۱۹/۴	۳۸/۶/۳	۱۱۲/۰/۶	۰/۱۹	۰/۱۲**
خطای آزمایشی	۱۱۲	۱۱۲	۶۳/۶/۱	۸/۶/۸	۰/۰۷	۲۵۵/۶/۳	۴۳/۶/۳	۶۸/۴/۳	۰/۱۷/۶	۰/۰۶
ضریب تغییرات	۱/۷/۸	۵/۲/۶	۱/۵/۸	۲۷/۷/۵	۵/۳/۲	۱۷/۵/۲	۸/۳/۴	۲۳/۰/۵	۱۶/۸/۱	۶/۱/۰

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

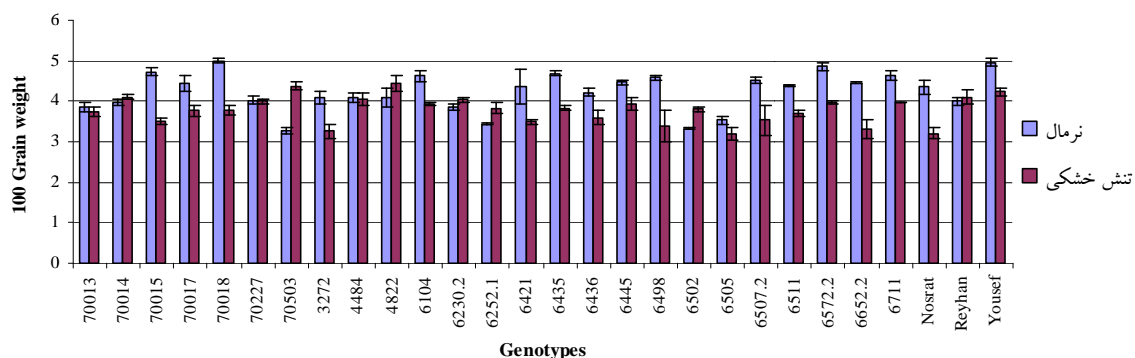
### ۳. نتایج و بحث

تجزیه مرکب صفات تحت ارزیابی در ژنوتیپ‌های منتخب کلکسیون جو (جدول ۲) نشان داد اثر تنش بر صفات تعداد روز تا رسیدن، ارتفاع بوته، سطح ویژه 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 ویژه 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.

مقایسه میانگین صفت تعداد روز تا رسیدن در ژنوتیپ‌ها در



شکل ۲. مقایسه میانگین صفت روز تا رسیدن در ۲۵ ژنوتیپ جو به همراه سه رقم شاهد در وضعیت نرمال و تنش خشکی

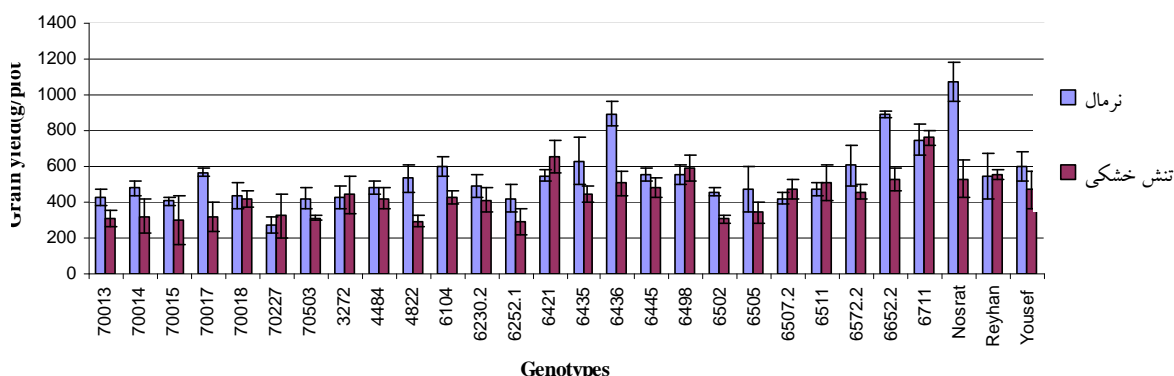


شکل ۳. مقایسه میانگین صفت وزن صددانه در ۲۵ ژنوتیپ جو به همراه سه رقم شاهد در وضعیت نرمال و تنش خشکی

(STI)، ژنوتیپ‌های شماره ۲۵، ۲۶ (نصرت)، ۲۴ و ۱۶ به ترتیب 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. از این رو به نظر می‌رسد از آنجا که عملکرد پتانسیل در این سه ژنوتیپ زیاد است، با وجود افت عملکرد در وضعیت تنش خشکی، همچنان در رتبه بالایی قرار دارند. این در حالی است که ژنوتیپ شماره ۲۵ هم براساس شاخص تحمل تنش، رتبه بالایی دارد و هم براساس شاخص حساسیت به تنش، حساسیت کمی به خشکی نشان داده است و ژنوتیپ مطلوبی به نظر می‌رسد.

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

بررسی اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ بر عملکرد دانه 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 شماره ۴۳۶، ۶۵۲/۲ و ۶۶۵۲/۲ و رقم نصرت که در وضعیت نرمال عملکرد دانه زیادی تولید کردند، در وضعیت تنش خشکی کاهش عملکرد شدیدی داشتند. ژنوتیپ شماره ۶۷۱۱ در این شکل ژنوتیپ مطلوبی به نظر می‌رسد، چراکه کاهش عملکرد آن در وضعیت تنش خشکی کمتر از سایر ژنوتیپ‌ها است. از مقایسه تغییرات میانگین صفت وزن صدانه و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش (شکل‌های ۳ و ۴) استنباط می‌شود که نحوه تخصیص منابع در ژنوتیپ‌ها این دو صفت را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که در ژنوتیپ‌هایی که در اثر تنش، صفت عملکرد دانه افت شدیدی را نشان داد، کاهش وزن صدانه مشاهده نشد یا حتی وزن صدانه افزایش یافت (ژنوتیپ‌های ۴۸۸۲۲، ۷۰۵۰۳ و ۶۲۵۲). ژنوتیپ شماره ۶۷۱۱ و رقم تجاری ریحان، ژنوتیپ‌های برتری بودند که هم در صفت وزن صدانه و هم عملکرد دانه، پایداری خوبی نشان دادند. شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش در ژنوتیپ‌ها محاسبه شد (جدول ۳). براساس شاخص تحمل به تنش



شکل ۴. مقایسه میانگین صفت عملکرد دانه در ۲۵ ژنوتیپ جو به همراه 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

شاخص تحمل تنش	میانگین هندسی عملکرد	شاخص حساسیت به تنش	تحمل	میانگین حسابی عملکرد	عملکرد تنش	عملکرد پتانسیل	TN	No
STI	GMP	SSI	TOL	MP	Ys	Yp		
۰/۴۳	۲۴۳/۷	۱/۱۶	۷۶/۷	۲۴۶/۷	۲۰۸/۳	۲۸۵	۷۰۰۱۳	۱
۰/۴۹	۲۶۱/۶	۱/۴۰	۱۰۳/۳	۲۶۶/۷	۲۱۵	۳۱۸/۳	۷۰۰۱۴	۲
۰/۳۹	۲۳۳/۳	۱/۱۳	۷۱/۳	۲۳۶	۲۶۳/۳	۲۷۱/۷	۷۰۰۱۵	۳
۰/۵۸	۲۸۳	۱/۹۰	۱۶۶/۷	۲۹۵	۲۱۱/۷	۳۷۸/۳	۷۰۰۱۷	۴
۰/۵۸	۲۸۴/۱	۰/۱۷	۱۱/۷	۲۸۴/۲	۲۷۸/۳	۲۹۰	۷۰۰۱۸	۵
۰/۲۹	۱۹۹/۳	-۰/۷۹	-۳۳/۳	۲۰۰	۲۱۶/۷	۱۸۳/۳	۷۰۲۲۷	۶
۰/۴۲	۲۴۲/۲	۱/۱۳	۷۳/۳	۲۴۵	۲۰۸/۳	۲۸۱/۷	۷۰۵۰۳	۷
۰/۶۰	۲۹۰	۰/۱۵	۱۰	۲۹۰	۲۹۵	۲۸۵	۳۲۷۲	۸
۰/۶۴	۲۹۹/۳	۰/۵۴	۴۰	۳۰۰	۲۸۰	۳۲۰	۴۴۸۴	۹
۰/۵۰	۲۶۴/۲	۱/۹۳	۱۵۸/۳	۲۷۵/۸	۱۹۶/۷	۳۵۵	۴۸۲۲	۱۰
۰/۸۱	۳۳۵/۹	۱/۲۵	۱۱۵	۳۴۰/۸	۲۸۳/۳	۳۹۸/۳	۶۱۰۴	۱۱
۰/۶۵	۳۰۱/۲	۰/۷۲	۵۵	۳۰۲/۵	۲۷۵	۳۳۰	۶۲۳۰	۱۲
۰/۳۹	۲۴۳/۴	۱/۳۳	۸۶/۷	۲۳۸/۳	۱۹۵	۲۸۱/۷	۶۲۵۲	۱۳
۱/۱۵	۴۰۰/۱	-۰/۸۳	-۷۰	۴۰۱/۷	۴۳۶/۷	۳۶۶/۷	۶۴۲۱	۱۴
۰/۸۹	۳۵۲	۱/۲۹	۱۲۵	۳۵۷/۵	۲۹۵	۴۲۰	۶۴۳۵	۱۵
۱/۴۴	۴۴۷/۶	۱/۸۸	۲۵۸/۳	۴۶۵/۸	۳۳۶/۷	۵۹۵	۶۴۳۶	۱۶
۰/۸۵	۳۴۴/۱	۰/۵۸	۵۰	۳۴۵	۳۲۰	۳۷۰	۶۴۴۵	۱۷
۱/۰۵	۳۸۱/۵	۰/۲۷-	۲۳/۳-	۳۸۱/۷	۳۹۳/۳	۳۷۰	۶۴۹۸	۱۸
۰/۴۵	۲۵۰	۱/۴۲	۱۰۰	۲۵۵	۲۰۵	۳۰۵	۶۵۰۲	۱۹
۰/۵۱	۲۶۷/۵	۱/۱۷	۸۵	۲۷۰/۸	۲۶۱/۷	۳۱۳/۳	۶۵۰۵	۲۰
۰/۶۳	۲۹۶/۲	۰/۵۱-	۳۳/۳-	۲۹۶/۷	۳۱۳/۳	۲۸۰	۶۵۰۷	۲۱
۰/۷۷	۳۲۶/۵	۰/۳۲-	۲۳/۳-	۳۲۶/۷	۳۳۸/۳	۳۱۵	۶۵۱۱	۲۲
۰/۸۸	۳۵۰/۷	۱/۰۵	۹۸/۳	۳۵۴/۲	۳۰۵	۴۰۳/۳	۶۵۷۲	۲۳
۱/۵۰	۴۵۶/۸	۱/۷۶	۲۴۱/۷	۴۲۷/۵	۳۵۱/۷	۵۹۳/۳	۶۶۵۲	۲۴
۱/۸۲	۵۰۳/۳	۰/۰۶-	۶/۷-	۵۰۳/۳	۵۰۶/۷	۵۰۰	۶۷۱۱	۲۵
۱/۸۲	۵۰۲/۶	۲/۱۹	۳۶۱/۷	۵۳۴/۲	۳۵۳/۳	۷۱۵	نصرت	۲۶
۰/۹۶	۳۶۵/۸	۰/۰۶-	-۵	۳۶۵/۸	۳۶۸/۳	۳۶۳/۳	ریحان	۲۷
۰/۹۰	۳۵۴	۰/۹۴	۸۶/۷	۳۵۶/۷	۴۱۳/۳	۴۰۰	یوسف	۲۸



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

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

به‌روش پیرسون

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

\*\*\* 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

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

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

احتمال ۵ درصد معنادار است. بالاترین ضرایب همبستگی با شاخص تحمل تنش، مربوط به صفت تعداد سنبلچه در سنبله (با علامت مثبت) و سطح ویژه 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 ویژه برگ،

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

بهرار کشاورزی

دوره ۱۶ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۳

مجموع ۸۹/۰۱ درصد از واریانس صفات را توجیه می‌کنند. در مؤلفه اول که ۴۰/۲۲ درصد از تغییرات مشاهده شده را به خود اختصاص داده، صفات برگ پرچم شامل سطح برگ، وزن برگ و سطح ویژه آن بیشترین ضریب را در این مؤلفه دارند (جدول ۵). ۱۹/۱۴ درصد از واریانس توسط مؤلفه 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 مؤلفه اول و مقادیر مثبت بالاتری در مؤلفه دوم باشند، ژنوتیپ‌های متحمل‌تر از دیگر ژنوتیپ‌ها هستند. بزرگ‌ترین ضرایب مربوط به مؤلفه سوم نیز مربوط به صفات فنولوژیک روز تا گلدهی، روز تا ظهور سنبله و روز تا رسیدن است. صفات آگرونومیک تعداد سنبله در سنبله و وزن صددانه نیز مؤثرترین صفات در مؤلفه چهارم هستند.

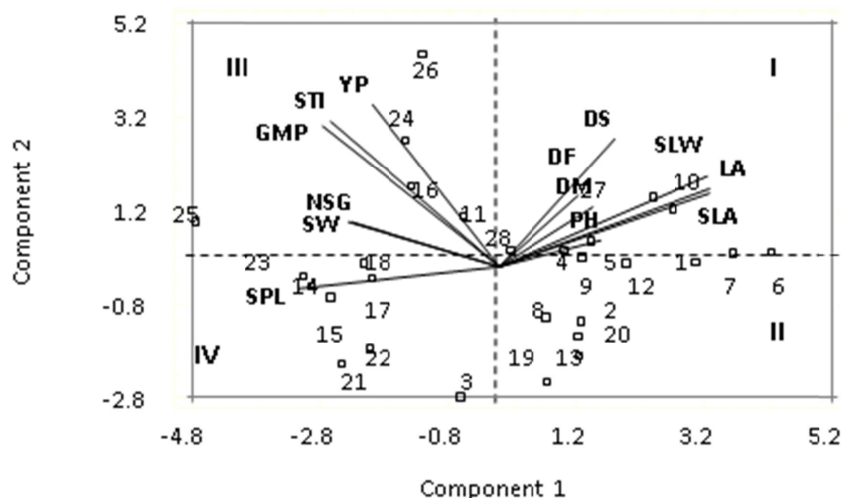
نشان‌دهنده رابطه معکوس این دو صفت و تأییدکننده سیستم تدافعی گیاه در کاهش سطح ویژه برگ در تطابق با تنش خشکی است. علاوه بر این، صفات وزن برگ و سطح برگ پرچم نیز همبستگی منفی معناداری با شاخص تحمل داشتند. صفت وزن صددانه در وضعیت تنش خشکی نیز همبستگی مثبت معناداری با شاخص تحمل تنش نشان می‌دهد. این صفت تنها صفتی است که در هر دو وضعیت، با شاخص تحمل تنش همبستگی نشان داد.

به منظور 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 ویژه بزرگ‌تر از یک دارند، در تشکیل ماتریس ضرایب شرکت کردند و در

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

صفات	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳	مؤلفه ۴	مؤلفه ۵
روز تا گلدهی	۰/۱۴	۰/۲۱	-۰/۵۵	-۰/۲۵	-۰/۲۳
روز تا رسیدن	۰/۱۶	۰/۱۷	-۰/۴۲	۰/۱۵	-۰/۰۱
روز تا ظهور سنبله	۰/۲۰	۰/۳۷	-۰/۴۳	۰/۰۲	-۰/۰۸
میانگین هندسی عملکرد	-۰/۳۱	۰/۴۱	۰/۱۴	-۰/۱۷	۰/۰۵
سطح برگ پرچم (cm <sup>2</sup> )	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۰۳
تعداد سنبله در سنبله	-۰/۲۶	۰/۱۳	-۰/۲۲	۰/۵۲	۰/۳۳
ارتفاع بوته (cm)	۰/۱۷	۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۲۱	۰/۸۳
سطح ویژه برگ پرچم (cm <sup>2</sup> /g)	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۰۱
وزن برگ پرچم (g)	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۰۱
طول سنبله (cm)	-۰/۳۵	-۰/۰۶	-۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۳
شاخص تحمل تنش	-۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۱۴	-۰/۱۸	-۰/۰۷
وزن دانه (g)	-۰/۲۶	-۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۵۰	-۰/۲۴
عملکرد پتانسیل	-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

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



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

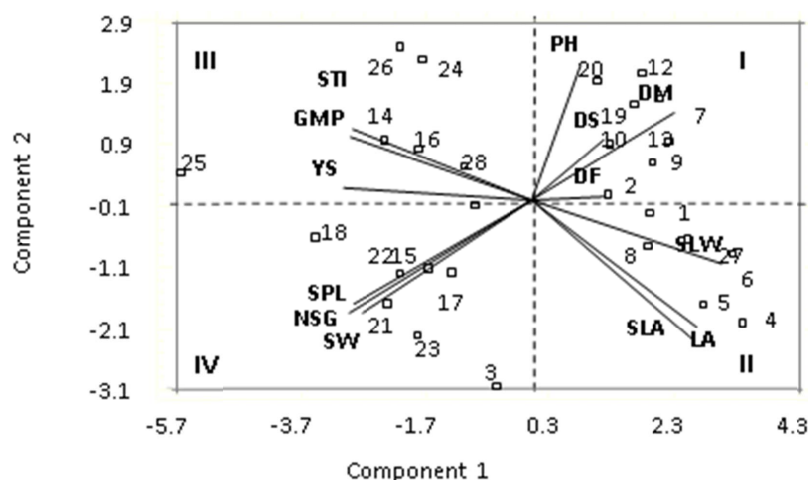
(TN۶۶۵۲)، ۲۶ (نصرت) و ۲۵ (TN۶۷۱۱) کمیت بیشتری دارند. نزدیک بودن بردار صفات به شاخص‌های تنش، نشان‌دهنده ارتباط نزدیک و همبستگی میان صفات و شاخص‌ها است. در شکل ۲، رابطه نزدیک صفات وزن صدانه و تعداد سنبله در سنبله با شاخص تحمل به تنش (STI) قابل مشاهده است، چراکه در میان صفات تحت ارزیابی، بردار این صفت نزدیک‌ترین 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 ویژه 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 مؤلفه 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 مؤلفه دوم ایجاد شده است و شاخص سطح برگ ویژه (SLA) و سطح برگ پرچم (LA)، در این مؤلفه نقش مهمی

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)، به وضوح 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 ویژه آن در ربع اول نمودار قرار گرفته است، بنابراین ژنوتیپ‌های این ربع از جمله ژنوتیپ شماره ۱۰ (TN۴۸۲۲)، به تنش حساسند. همان‌طور که ذکر شد، ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر منفی در مؤلفه اول و مقادیر مثبت بالاتر در مؤلفه دوم باشند، عملکرد بهتری در وضعیت نرمال و تنش خشکی دارند، از این رو ژنوتیپ‌هایی که در ربع سوم نمودار قرار دارند، نمونه‌های پرمحصول و ژنوتیپ‌های ربع دوم که مقادیر مثبت در مؤلفه اول و مقادیر منفی در مؤلفه 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

میانگین هندسی عملکرد (GMP) است که ۱۴/۶۰ درصد از واریانس را به خود اختصاص داده است. صفات مؤثر در مؤلفه چهارم صفات فنولوژیک هستند.

دارند و ضرایب این صفات منفی است. همچنین صفت ارتفاع بوته با ضریب مثبت در این مؤلفه تأثیرگذار است. بزرگ‌ترین ضریب مربوط به مؤلفه سوم، شاخص تحمل تنش (STI) و



شکل ۶. نمودار بای پلات دو مؤلفه 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 مؤلفه اصلی در ژنوتیپ‌های جو در وضعیت تنش خشکی

صفات	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۳	مؤلفه ۴
روز تا گلدهی	۰/۱۳	۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۷۷
روز تا رسیدن	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۱۱
روز تا ظهور سنبله	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۳۴	-۰/۵۴
میانگین هندسی عملکرد	-۰/۳۲	۰/۱۹	۰/۴۲	۰/۰۶
سطح برگ پرچم (cm <sup>2</sup> )	۰/۲۹	-۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۰۹
تعداد سنبالچه در سنبله	-۰/۳۲	-۰/۳۳	۰/۱۱	-۰/۱۹
ارتفاع یوته (cm)	۰/۰۸	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۰۸
سطح ویژه برگ پرچم (cm <sup>2</sup> /g)	۰/۲۸	-۰/۴۱	۰/۲۶	۰/۰۹
وزن برگ پرچم (g)	۰/۳۴	-۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۱۰
طول سنبله (cm)	-۰/۳۱	-۰/۳۱	-۰/۰۶	-۰/۰۴
شاخص تحمل تنش	-۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۴۱	۰/۰۵
وزن دانه (g)	-۰/۳۰	-۰/۳۳	۰/۱۱	-۰/۰۹
عملکرد تنش	-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

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

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 ویژه آن در مقابل و جهت عکس بردار شاخص تحمل به تنش است. این وضعیت نشان می‌دهد که در وضعیت تنش خشکی، رابطه معکوسی میان صفت سطح برگ و سطح ویژه آن با تحمل به تنش خشکی به وجود می‌آید که در وضعیت رطوبتی نرمال وجود نداشت (همبستگی منفی این صفات با شاخص تحمل تنش در جدول ۵ معنادار شده است).

به منظور بررسی ارتباط شاخص تحمل به تنش (STI) با سایر صفات ارزیابی شده (به جز عملکرد دانه) تجزیه رگرسیون به روش گام به گام در وضعیت آبیاری نرمال و تنش خشکی به طور جداگانه انجام گرفت (جدول‌های ۸ و ۹). نتایج نشان داد که مدل رگرسیون فقط در وضعیت تنش معنادار است. چهار صفت سطح ویژه 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.

جدول ۸. تجزیه رگرسیون گام به گام بین شاخص تحمل به تنش (STI) و صفات کمی تحت ارزیابی در وضعیت آبیاری نرمال

معادله رگرسیون	R Square (Adjusted)
گام اول $STI = -0.072 + 0.36 (GW)$	۰/۱۴

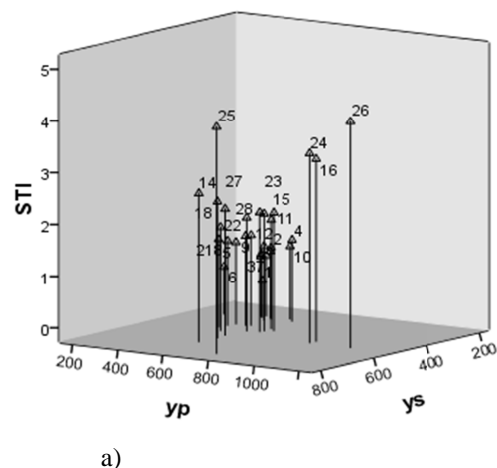
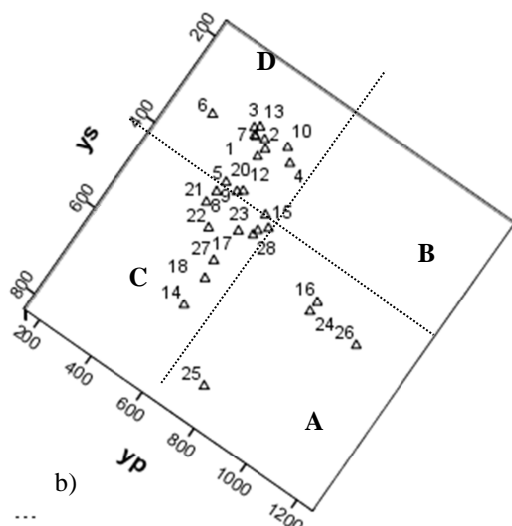
جدول ۹. تجزیه رگرسیون گام به گام بین شاخص تحمل به تنش (STI) و صفات کمی تحت ارزیابی در وضعیت تنش خشکی

معادله رگرسیون	R Square (Adjusted)
گام اول $STI = 1/67 - 0.03 (SLA)$	۰/۴۷
گام دوم $STI = 0.66 - 0.02 (SLA) + 0.05 (NSG)$	۰/۶۱
گام سوم $STI = 1/77 - 0.21 (SLA) + 0.7 (NSG) + 0.09 (LAI)$	۰/۷۳
گام چهارم $STI = 1/77 - 0.21 (SLA) + 0.7 (NSG) + 0.09 (LAI) - 0.02 (DF)$	۰/۷۹

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

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، از این‌رو این ژنوتیپ‌ها سازگاری زیادی با وضعیت محدودیت رطوبتی دارند. ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش تظاهر ضعیفی دارند (گروه D) در شکل ۷-a نشان داده شده‌اند. البته شایان ذکر است که با توجه به فرضی بودن خطوط جداکننده این گروه‌ها، باید توجه داشت که برخی از نمونه‌های گروه A [۲۴، ۱۴، ۲۶]، در مرز مشترک با گروه B قرار گرفته‌اند و ژنوتیپ ۲۵ (TN۶۷۱۱) در مرز مشترک با گروه C قرار دارد. از این‌رو به نظر می‌رسد حد تحمل به تنش در ژنوتیپ شماره ۲۵ بیشتر از سه ژنوتیپ دیگر گروه A باشد. براساس شاخص تحمل تنش (STI) نیز، ژنوتیپ‌های شماره ۲۵ (TN۶۷۱۱)، ۲۶ (نصرت)، ۲۴ (TN۶۶۵۲) و ۱۶ (TN۶۴۳۶) به ترتیب متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی شناسایی شدند، چراکه کاهش عملکرد کمتری در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها داشتند (شکل ۷-b).

به منظور گزینش مورفوتیپ‌های متحمل به خشکی و پرمحصول 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 به عنوان معیاری برای انتخاب مورفوتیپ‌های پرمحصول و متحمل به خشکی، سطح نمودار X-Y به وسیله 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 شماره ۱۶ (TN۶۴۳۶)، ۲۴ (۶۶۵۲)، ۲۵ (TN۶۷۱۱) و ۲۶ (نصرت) در گروه A قرار گرفتند و از این‌رو 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



شکل ۷. 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: مقایسه مقادیر شاخص تحمل تنش در ژنوتیپ‌ها.

گروه‌بندی ژنوتیپ‌های جو در تجزیه 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، تجزیه 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 ویژه 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 تمایز یافته در تجزیه خوشه‌ای به روش k means در ژنوتیپ‌های جو

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

ژنوتیپ‌های ۱۶، ۲۴، ۲۵ و ۲۶ در یک گروه واقع شدند. این ژنوتیپ‌ها، همان نمونه‌های برتر شناسایی شده در تجزیه‌های قبلی بودند؛ از این رو نتایج تجزیه خوشه‌ای با نتایج سایر تجزیه‌ها در تطابق است. با بررسی میانگین صفات گروه‌های تمایز یافته در تجزیه خوشه‌ای مشاهده می‌شود که گروه دوم (شامل ژنوتیپ‌های برتر) در وضعیت تنش خشکی دارای کمترین تعداد روز تا رسیدن (به‌طور متوسط ۱۴۵ روز) و بیشترین تعداد روز تا رسیدن کامل (به‌طور متوسط ۱۹۴ روز) در مقایسه با دو گروه دیگرند. از این رو به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل برتری این ژنوتیپ‌های این گروه بر دیگر ژنوتیپ‌ها، طول بیشتر دوره پر کردن دانه بوده است. به عبارت 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. نکته جالب توجه این است که تفاوت بین گروه‌های تجزیه 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 تجزیه رگرسیون نیز در تطابق است.

توده‌های بومی جو از لحاظ ژنتیکی جمعیت‌های هتروژنی شامل لاین‌های خالص و هیبریدهایی با نسل‌های در حال تفرق و دارای دگرگشتی 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]. از آنجا 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 نشان‌دهنده سازگاری اکولوژی ژنوتیپ‌های بومی هر منطقه با وضعیت اقلیمی و تنش‌های زیستی و غیرزیستی رایج در آن منطقه است.

بر اساس 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 STI، GMP، MP 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 بر اساس این شاخص، ژنوتیپ‌های شماره 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 صدادانه 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 ویژه برگ پرچم در وضعیت تنش خشکی همبستگی منفی با شاخص تحمل تنش داشت



### سیاسگزاری

این آزمایش در قالب پروژه ملی مصوب به شماره ۸۵۱۴۷-۲۵-۰۰۰۰-۱۲۰۰۰۰-۱۰۰-۰ و با استفاده از امکانات و اعتبارات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و بخش تحقیقات ژنتیک و ذخایر توارثی گیاهی اجرا شده است. از این رو لازم است از تلاش و مساعدت کلیه مسئولان و همکاران در اجرای این پروژه، به ویژه 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 چغندر قند 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. به نژادی نهال و بذر (نهال و بذر). ۲۵-۱(۴): ۵۳۳-۵۴۹.
۴. شاه مرادی ش.، زینالی خانقاه ح.، دانشیان ج.، خداپنده 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.، شفالادین س. و ویوسفی ا. (۱۳۹۰) تنوع فنوتیپی اکوتیپ های جو بومی مناطق گرم و خشک ایران به نژادی نهال و بذر (نهال و بذر). ۲۷-۴(۱): ۴۹۵-۵۱۵.

که در وضعیت رطوبتی نرمال مشاهده نشد. از سوی دیگر کاهش معنادار سطح ویژه برگ پرچم در اثر تنش خشکی، که توسط محققان نیز گزارش شده است [۹]، نشان دهنده واکنش فیزیولوژیکی گیاه در سازگاری با وضعیت تنش خشکی است. از این رو به نظر می رسد برخی نمونه ها که توانایی بیشتری در سازگاری با عامل محیطی تنش خشکی داشته اند، سطح ویژه برگ را کاهش داده اند تا شدت تعلق برگ را کاهش دهند و نمونه هایی که قادر به این تغییر نبوده اند، شاخص تحمل به تنش ضعیفی داشته اند. نتایج رگرسیون گام به گام بین شاخص تحمل تنش و صفات تحت ارزیابی، اهمیت زیاد صفات سطح ویژه برگ پرچم و سطح برگ آن را در وضعیت تنش خشکی نشان می دهد و همچنین تنها صفتی که در وضعیت رطوبتی نرمال نیز با شاخص تحمل به تنش ارتباط نزدیکی دارد، صفت وزن صدانه است.

با توجه به اینکه ژنوتیپ های متحمل شناسایی شده در این تحقیق، از مناطق مختلفی جمع آوری شده اند (۶۷۱۱ TN از قم، ۶۶۵۲/۲ TN از رامهرمز و ۶۴۳۶ TN از بندر گناوه)، به نظر می رسد این ژنوتیپ ها در اثر سازگاری با اقلیم محل زندگی خود دستخوش تغییرات ژنتیکی شده اند تا بتوانند به خوبی با وضعیت محیطی تطابق یابند. گزارش شده است که بین ژنوتیپ های متحمل جو، تنوع ژنتیکی زیادی وجود دارد و با اجرای تلاقی های مرکب می توان ژنوتیپ هایی با تحمل بیشتر تولید کرد که تعداد بیشتری از ژن های تحمل به خشکی را دارا باشند [۷]. نتایج این تحقیق نشان می دهد که ژنوتیپ های بومی از جمله ژنوتیپ شماره ۲۵ (TN۶۷۱۱) که طی سالیان متمادی با وضعیت اقلیمی منطقه خود سازگار شده اند و تحت وضعیت طبیعی و سیستم های کشاورزی محلی تکامل یافته اند، دارای ذخایر ژنتیکی ارزشمند و سازگاری وسیعی هستند که آنها را برای به نژادگران جالب توجه می کند.

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, Shanhuai, Taiwan.
17. Gallagher J N Biscoe P V and Scott R K (1975) Barley and its environment. 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.
۶. شفالالدين س (۱۳۸۱) بررسی تنوع ژنتیکی و جغرافیایی ژرم پلاسما جوهای بومی مناطق شمال کشور بر اساس صفات زراعی و مورفولوژیکی. علوم کشاورزی ایران. ۳۳(۳): ۵۶۹-۵۸۱.
۷. کرمی ع.، قنادها م. ر.، نقوی م. ر. و مردی م. (۱۳۸۴) ارزیابی مقاومت به خشکی در جو. علوم کشاورزی ایران. ۳۶(۳): ۵۴۷-۵۵۶.
۸. کوچکی ع. (۱۳۷۶). زراعت در مناطق خشک. چاپ سوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۰۲ صفحه.
۹. منجم س.، احمدی ع. و محمدی و. (۱۳۸۹) اثرات تنش خشکی در مراحل زایشی بر تسهیم مواد فتوسنتزی ارقام تجاری کلزا. تولید گیاهان زراعی. ۳(۳): ۱۶۳-۱۷۸.
۱۰. ویسی مال امیری ا.، حق پرست ر.، آقایی سربرزه م.، فرشادفر ع. و رجبی ر. (۱۳۸۹) ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ های جو (*Hordeum vulgare* L.) با استفاده از خصوصیات فیزیولوژیکی و شاخص های تحمل به خشکی. به نژادی نهال و بذری نهال و بذری. 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.

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.