دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی پایداری عملکرد و تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) در اقلیم معتدل ایران

حمیدرضا نیکخواه[۱]، حمید تجلی[۲]، سید علی طباطبائی[۳] و منوچهر طاهری[۴]

۱- استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران، (نویسنده مسوول: nikkhah_hr@yahoo.com)
۲- محقق سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۳- دانشیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۴- استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۷
صفحه: ۱ تا ۱۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنش خشکی یکی از نتایج تغییرات آب و هوا است که تاثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد. به‌نژادی برای تحمل به خشکی و پایداری تولید از اهداف مهم برنامه‌های اصلاحی گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی پایداری عملکرد دانه و تحمل به تنش خشکی آخر فصل ژنوتیپ‌های جو در اقلیم معتدل کشور، ۲۰ رقم و لاین جو، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در طی دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در چهار ایستگاه تحقیقاتی شامل کرج، ورامین، بیرجند و یزد در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی انتهای فصل (قطع آبیاری در ۵۰٪ سنبله‌دهی) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: تجزیه واریانس مرکب نشان‌داد که اثر ژنوتیپ، برهمکنش سال × مکان، مکان × ژنوتیپ و ژنوتیپ × سال × مکان بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. جهت بررسی دقیق‌تر اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار و متحمل به خشکی پارامترهای مختلف پایداری و شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی برای هر ژنوتیپ محاسبه گردید. محاسبه پارامترهای پایداری نشان داد که لاین‌های شماره ۲۰، ۴، ۱۶ و ۱۵ به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایدار و سازگاری مناسب شناخته شدند. از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی در سال اول لاین‌های ۴، ۱۷، ۱۶، ۲۰ و ۱۱ و در سال دوم لاین‌های ۷، ۳، ۱۶، ۴، ۲۰ و ۵ ژنوتیپ‌های برتر متحمل به خشکی انتهای فصل بودند.

نتیجه‌گیری: استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی، نمودار سه بعدی و بای پلات در سال اول و دوم نشان می‌دهد که لاین‌های ۴، ۱۶ و ۲۰ به‌طور مشترک در هر دو سال به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر تحمل به خشکی انتخاب شدند، بنابراین این نتایج نشان می‌دهد که این لاین‌ها از تکرارپذیری مناسبی برای تحمل به خشکی برخوردار بودند. از طرفی آماره‌های پایداری نیز دلالت بر پایداری عملکرد این لاین‌ها داشت، پس با توجه به پایداری عملکرد دانه، تحمل به خشکی و پتانسیل بالای عملکرد، سه لاین ۴، ۱۶ و ۲۰ به‌عنوان لاین‌های برتر و سازگار برای شرایط نرمال و تحت تنش خشکی آخر فصل در اقلیم معتدل کشور بعد از آزمایشات تکمیلی می‌تواند برای کمک به تولید در این مناطق مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، تنش خشکی انتهای فصل، سازگاری، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

مقدمه

تولید غذا در دنیا عمدتا بوسیله تنش‌های محیطی محدود شده و پیدا کردن نواحی عاری از تنش که در آن گیاهان زراعی بتوانند عملکرد بالقوه خود را نشان دهند، خیلی مشکل است. در میان تنش‌های غیرزنده، خشکی از مهمترین عوامل محدودکننده‌ی تولید مؤفق محصولات زراعی در ایران و دنیا به حساب می‌آید. ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲۴۰ میلی‌متر در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار می گیرد. به‌علت کمبود آب، تنش خشکی امروزه بخش وسیعی از مطالعات به‌نژادی را به خود اختصاص داده و باعث توجه بیشتر به مطالعه در زمینه‌ی اثرات خشکی و ایجاد ارقام متحمل به خشکی شده‌است. از آنجائی که جو دارای سازگاری وسیع اکولوژیکی بوده و نسبت به دیگر گیاهان خانواده غلات تحمل بیشتری نسبت به خشکی، شوری و قلیائی بودن خاک دارد (۲۴) و با توجه به افزایش جمعیت و نیاز به مواد گوشتی و پروتئینی حیوانی، تولید جو که دارای پروتئین بالا و اسیدآمینه ضروری لایسین به‌میزان زیاد بوده و در حال حاضر مهمترین ماده تشکیل‌دهنده جیره غذائی دامداری‌ها را تشکیل می‌دهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جو (*Hordeum vulgare* L.) چهارمین غله مهم دنیا بعد از گندم، ذرت و برنج و دومین محصول زراعی مهم ایران از نظر سطح تولید بعد از گندم است. در دنیا بیش از ۱۲۳ میلیون تن جو، هر ساله از حدود ۴۸ میلیون هکتار زمین کشاورزی برداشت می‌شود (۱۰). در ایران نیز سطح زیر کشت جو حدود ۱/۶۶۴۵۱۵ میلیون هکتار است (سطح زیر کشت جوآبی حدود ۶۹۲ و جو دیم حدود ۹۷۳ هزار هکتار می‌باشد)، که از این سطح حدود ۳/۸۷۴ میلیون تن دانه برداشت می‌شود (۵). با توجه به اهمیت این محصول در تغذیه احشام و استفاده در صنایع غذایی ارقام و لاین‌های پیشرفته جو که تقریباً در انتهای مسیر اصلاحی خود می باشند هر ساله در بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در قالب آزمایشات یکنواخت ارقام و لاین‌های امیدبخش با هدف بررسی اثر متقابل ژنوتیپ با محیط و شناسایی ارقام با عملکرد و سازگاری بالا انتخاب می‌شوند که در هر یک از اقلیم‌های گرم، معتدل و سرد کشور این کار انجام می‌گیرد. اقلیم معتدل کشور با تولید بیش از یک میلیون تن محصول دانه جو (تقریبا معادل یک سوم کل تولید محصول دانه جو آبی و

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

دیم)، با سطح زیر کشت حدود ۳۵۰ هزارهکتار (تقریبا معادل یک پنجم کل سطح زیر کشت) و میانگین تولید ۳/۹ تن در هکتار سهم بسزائی در تولید جو و علوفه کشور دارد. بنابراین تولید ارقام اصلاح شده با عملکرد و سازگاری بالا و مقاوم به تنش‌های محیطی برای این اقلیم حائز اهمیت می باشد. اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط یکی از مسائل مهم در اصلاح نباتات است که در توسعه و گسترش واریته‌های اصلاح شده حائز اهمیت فراوان می‌باشد. وقتی واریته‌ها در محیط‌های گوناگون با یکدیگر مقایسه می شوند، وضعیت متفاوتی نشان می‌دهند. اثر متقابل محیط و ژنوتیپ نشان‌دهنده حساسیت متفاوت ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی است، بدین معنی که بهترین ژنوتیپ در یک محیط لزوما بهترین ژنوتیپ در محیط دیگر نیست. اگر اثر متقابل ژنوتیپ در محیط زیاد باشد پیشرفت انتخاب کاهش خواهد یافت. یکی از روش‌های کاهش اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار می‌باشد. ماحصل وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به صورت سازگاری و پایداری تجلی می‌یابد (۱۶). در صورت وجود اثر متقابل، ایجاب می‌کند که علاوه بر میزان عملکرد، معیار پایداری ارقام نیز در معرفی آنها مورد توجه قرار گیرد (۷). روش‌های متعددی به‌منظور تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و برآورد پایداری پیشنهاد شده است. هر یک از روش‌های آماری جنبه‌های مختلفی از پایداری ارقام را نشان می دهند و یک روش به‌تنهایی نمی‌تواند عملکرد یک ژنوتیپ را در محیط‌های مختلف از جنبه‌های مختلف پایداری بررسی کند. از طرفی وجود خشکسالی‌های پیاپی و بالا رفتن اهمیت آب بخصوص در مناطق معتدل کشور و رقابت برای آب آبیاری در فصل بهار بین آبیاری‌های آخر غلات و سایر محصولات زراعی می‌طلبد که ارقام معرفی گردند که ضمن پایداری عملکرد دانه و سازگاری مناسب از تحمل به خشکی قابل قبولی در این مناطق برخوردار باشند. گاووزی و همکاران (۱۵) در آزمایشی که در جنوب ایتالیا انجام دادند، در میان ارقام گندم نان، دوروم و جو تنوع ژنتیکی برای سازگاری به درجه حرارت بالا و تنش خشکی پیدا کردند. اطلاعات بدست آمده حاصل از ۲۰ رقم به مدت ۵ سال در ۳۰ مکان در آزمایش تکراردار بود که در این محیط‌ها تنش به‌شدت عملکرد دانه را تحت‌تأثیر قرار داد. بعد از بررسی‌های دقیق روی داده‌های بدست آمده در سال‌ها و مکان‌های مختلف آنها توانستند ارقام مقاوم را بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و شاخص حساسیت بدست آورند که در جو شامل ارقام Fleuret، Magie Arberrausse -13 و Georgie بود. ابی و کاهالان (۲) در شمال اتیوپی آزمایشی را برای تحمل به خشکی روی ۸ رقم جو بومی در ۴ مکان انجام دادند. در این آزمایش مشخص شد که ۳ رقم بومی Rei، Kinsobe و Burguda سازگاری عمومی بیشتر، عملکرد دانه بالاتر و زودرس‌تر نسبت به بقیه رقم‌ها بوده، عملکرد دانه همبستگی منفی با روز تا گلدهی و روز تا رسیدن داشت که نشان‌دهنده این است که ارقام بومی زودرس تحت شرایط خشکی عملکرد دانه بالاتری را نشان دادند. فرناندز (۱۱) ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش و بدون تنش را از نظر پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش به چهار گروه تقسیم کرد. گروه A شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند. گروه‌های B و C ژنوتیپ‌هایی هستند که به‌ترتیب فقط در شرایط محیطی بدون تنش و شرایط تنش عملکرد بالایی دارند، ولی گروه D شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و غیرتنش عملکرد پایینی دارند. بنابراین شاخصی مناسب است که بتواند گروه A را از بقیه گروه‌ها جدا کند. اسلامی و همکاران (۹) در بررسی تحمل به خشکی ۸۱ لاین جو در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که بین مواد ژنتیکی مورد مطالعه از نظر تحمل به خشکی تنوع مطلوبی وجود دارد و در مجموع بر مبنای شاخص‌های مختلف سه لاین به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناسایی شدند. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی به‌دلیل توجیه درصد بالایی از تغییرات توسط دو مولفه اول، هم‌خوانی خوبی با نتایج سایر محققان داشت. آهک پز و همکاران (۳) با مطالعه ۱۰۸ لاین و رقم جو زراعی تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی گزارش کردند که شاخص‌های MP، GMP، STI و YI بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در هر دو شرایط داشتند و بر اساس آنها ۲۵ ژنوتیپ متحمل به خشکی را شناسایی کردند. واعظی و همکاران (۳۳) در ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های اصلاح شده جو نشان دادند که شاخص‌های حساسیت TOL و SSI در شرایط دیم با عملکرد دانه همبسته نبود در حالی که شاخص‌های تحمل به خشکی MP، GMP، STI و HM در هر دو شرایط آبی و دیم با عملکرد دانه همبستگی مثت و معنی‌داری داشتند. بر مبنای عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های تحمل به خشکی می‌توان ژنوتیپ‌ها و لاین‌ها را گروه‌بندی نمود تا با در نظر گرفتن تمامی شاخص‌ها، دید جامعی از تحمل به خشکی فراهم گردد. چنان‌چه مهدوی و همکاران (۲۱) در ارزیابی تعداد ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته جو و نیکخواه و همکاران (۲۵) در جمعیت لاین‌های نوترکیب جو اقدام به گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی نمودند. هدف از اجرای این تحقیق بررسی سازگاری لاین‌های جو در مناطق معتدل کشور، به‌منظور دستیابی به لاین‌هایی با پایداری عملکرد دانه و سازگار مناسب و متحمل به تنش خشکی آخر فصل در مناطق معتدل بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین پایداری عملکرد دانه، تحمل به خشکی و ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، لاین‌های امیدبخش جو آزمایش مقایسه عملکرد یکنواخت سراسری منطقه معتدل در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۰ لاین و رقم (جدول ۱) در ۴ ایستگاه شامل: کرج، ورامین، بیرجند و یزد برای مدت دو سال (۹۷-۱۳۹۵) اجرا شد (در مجموع ۱۶ محیط). در شرایط تنش، قطع آبیاری در ۵۰٪ سنبله‌دهی، در شرایط بدون تنش، آبیاری کامل انجام شد. اطلاعات مربوط به بارندگی و میانگین دما در

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

جهار ایستگاه طی دو سال زراعی در جدول ۲ ارائه شده است. لاین‌های مورد بررسی از آزمایش‌های مقایسه عملکرد ارقام و لاین‌های پیشرفته جو ایستگاه های معتدل کشور در سال قبل با توجه به صفات عملکرد بالا، تحمل به خشکی، مقاومت به خوابیدگی، مقاومت به سرما، مقاومت در برابر بیماری‌های قارچی برگ، زودرسی و سایر صفات مطلوب گزینش شده‌اند. روش اصلاحی بالک تغییر شکل یافته بوده و این لاین‌ها در نسل F_{10} می‌باشد. در هر کرت ۶ خط کاشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بر روی دو پشته ۶ متری انجام شده و مساحت کاشت هر کرت ۷/۲ مترمربع بوده که پس از حذف ۰/۵ متر از بالا و پایین هر کرت مساحت برداشت از هر کرت ۶ متر مربع شد. تهیه زمین بر اساس عرف آزمایش‌های غلات در ایستگاه های مربوطه و تاریخ کاشت در محدوده زمانی مشخص و در اوایل آبان ماه برای کلیه ایستگاه‌ها بود. میزان کود مصرفی بر اساس آزمون خاک در هر ایستگاه می‌باشد. میزان بذر بر اساس ۳۵۰ دانه درهر متر مربع، و توزین بذر لازم برای کاشت در هر کرت با توجه به وزن هزار دانه ارقام انجام شد. برای جلوگیری از خسارت علف‌های هرز پهن برگ از علف کش گرانستار و علف‌های هرز نازک برگ از علف کش پوماسوپر استفاده شد. مزارع آزمایشی در سال گذشته آیش بوده و عملیات تهیه زمین بطور معمول قبل از کشت آزمایش انجام گردیده است. پس از برداشت محصول، عملکرد ژنوتیپ‌ها در کلیه ایستگاه‌ها طی دو سال مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفته و مقایسه میانگین مرکب ارقام نیز انجام شد و سپس پایداری عملکرد و سازگاری لاین‌ها با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه پایداری انجام گردید. برای بررسی پایداری عملکرد و سازگاری لاین‌ها از آماره‌های پیشنهادی هان (۱۸)، تناراسو (۳۲)، شوکلا (۳۱)، ابرهارت و راسل (۸)، فرانسیس و کاننبرگ (۱۴) و کانگ (۱۹) با استفاده از نرم‌افزار STABILITYSOFT (۲۷) محاسبه‌شده و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس پایداری عملکرد در هر آماره انجام شد. با استفاده از رتبه‌های محاسبه شده برای هر یک از آماره‌ها، میانگین و انحراف معیار رتبه پایداری برای کلیه ژنوتیپ‌ها تعیین شد.

برای برآورد شاخص‌های حساسیت و یا تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، از پارامترهای پیشنهادی توسط فیشر و مورر (۱۳) فرناندز (۱۱) روزیلا و هامبلین (۳۰) استفاده شد. شاخص‌ها عبارت بودند از: SSI (شاخص حساسیت به خشکی)، TOL (شاخص تحمل)، MP (شاخص بهره‌وری متوسط)، GMP (شاخص میانگین هندسی بهره‌وری)، STI (شاخص تحمل به تنش)، YI (شاخص عملکرد)، YSI (شاخص پایداری عملکرد)، HM (میانگین هارمونیک) و RSI (شاخص نسبی خشکی)، که با استفاده از برنامه نرم‌افزار iPASTIC (۲۸) محاسبه شده و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تحمل به خشکی در هر شاخص انجام شد. با استفاده از رتبه‌های محاسبه شده برای هر یک از شاخص‌ها، میانگین و انحراف معیار رتبه تحمل به تنش برای کلیه ژنوتیپ‌ها تعیین شد. قبل ازانجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، آزمون بارتلت به‌منظور بررسی همگنی واریانس اشتباه‌های آزمایشی انجام شد. برای انجام محاسبات آماری (تجزیه واریانس و مقایسه‌های میانگین در سطح احتمال ۵ درصد) از نرم‌افزارهای Excel و SAS و برای محاسبه شاخص‌ها و رسم پلات‌ها از برنامه iPASTIC (۲۸) استفاده‌گردید.

جدول ۱- شماره و شجره ژنوتیپ‌های بررسی شده

Table 1. Code and pedigree of studied genotypes

کد ژنوتیپ	شجره
۱	Yousef(شاهد)
۲	Cr115/Por//Bc/3/Api/CM67/4/Giza120/5/H272/Bgs/3/Mzq/Gva/Alanda-01/6/Nik
۳	Nosrat/5/Ciru/3/Agave/Sumbard400//Marco/4/Petunia1
۴	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80)/4/Nik
۵	Dasht//EBC(a)/Badia/3/Sahra
۶	Comino/Yousef
۷	Puebla/Cardo//Tocte/5/Nosrat/4/Rhodes'S'//Tb/Chzo/3/Gloria'S'
۸	Karoon/Kavir 2* /Sadik-10
۹	Fajr30/Sahra//Nik/3/Goharan
۱۰	LB.Iran/Una 8271//Gloria"S"/Come"s"-11M/3/Kavir/4/Sadik-10
۱۱	Nosrat/Goharan
۱۲	Zarza'S'/Agave'S'//Cardo/3/79W40762/Puebleda/4/Nik
۱۳	CM67/IPA265//Gustoe/IPA7/3/Goharan
۱۴	L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/(Gloria"S"/Copal"S")/4/Rhn-03 /5/ Deir Alla 106//Hem/Bc/3/Rihane"S"/4/Nik
۱۵	Karoon/Kavir 2* //Sadik-10
۱۶	Nosrat/Sadik-10/3/Rihane//Aths/Bc/4/ Fajr30
۱۷	Fajr30/Sahra//Nik/3/Goharan
۱۸	Karoon/Kavir 2* /3/(Gloria'S'/Copal'S'//As46/Aths)
۱۹	26216/4/Arar/3/Mari/Aths*2/M-Att-73-337-1/5/Barjouj
۲۰	SLB44-56/Lignee131

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

نتایج و بحث

نتایج در این تحقیق از دو جنبه مورد بررسی قرار گرفته است: ابتدا موضوع پایداری عملکرد دانه و سازگاری لاین‌ها با استفاده از روش‌های مختلف تجزیه پایداری و سپس تحمل و حساسیت لاین‌ها به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف مقاومت به خشکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به‌منظور انجام تجزیه مرکب آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت انجام گرفت. نتایج حاکی از یکنواخت بودن واریانس اشتباهات آزمایشی و قابل انجام بودن تجزیه مرکب بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه با فرض تصادفی بودن عامل سال و مکان و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها نشان داد که اثر مکان، ژنوتیپ، اثر متقابل مکان× سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × مکان × سال بر روی عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ نشان‌دهنده اختلاف ژنتیکی در بین لاین‌های مورد بررسی می‌باشد. معنی‌دار بودن اثر متقابل مکان × سال نشان‌دهنده اختلاف شرایط محیطی در مناطق و سال‌های مورد آزمایش بوده و با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × مکان × سال می‌توان استنباط کرد که عملکرد ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها و سال‌های مختلف در نوسان بوده، بنابراین نتیجه‌گیری و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه کافی نیست و برای بررسی دقیق‌تر اثرات متقابل و پیدا کردن لاین‌هایی با عملکرد دانه پایدار و سازگار در شرایط محیطی مختلف باید تجزیه پایداری لاین‌ها در شرایط ایستگاه‌های مختلف آزمایش انجام گیرد. با توجه به معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ، مقایسه میانگین مرکب لاین‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد (LSD%5) در دو سال نشان‌داد که لاین‌های شماره ۱۶، ۷، ۴ و ۲۰ به‌ترتیب با داشتن میانگین عملکرد ۵/۳۰۵، ۵/۲۳۴، ۵/۱۶۳ و ۵/۰۲۳ تن در هکتار بیشترین عملکرد را دارا بودند (جدول ۴). ولی قبل از هرگونه انتخاب و توصیه باید میزان سازگاری لاین‌ها و پایداری عملکرد آنها با استفاده از روش‌های تجزیه پایداری مشخص گردد تا لاین‌هایی با پایداری عملکرد دانه مناسب و سازگاری عمومی نیز شناسایی شوند.

تجزیه پایداری

نتایج تجزیه پایداری با روش‌های مختلف و رتبه هر ژنوتیپ از نظر آماره پایداری مربوطه در جدول ۴ آورده شده است. استفاده از آماره ناپارامتری هان ($S^{(6)}$) و آماره ناپارامتری تناراسو ($NP^{(4)}$) که مقدار کمتر نشان‌دهنده پایداری بالاتر عملکرد است، نشان داد که لاین‌های ۴، ۲۰، ۱۶ و ۱۱ با کمترین مقدار، رتبه‌های اول تا چهارم را به خود اختصاص داده و بالاترین پایداری عملکرد را نشان دادند. محاسبه واریانس پایداری شوکلا (σ^2) نشان داد که لاین‌های ۲۰، ۱۸، ۱۵ و ۱۰ جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها می‌باشند. با استفاده از روش رگرسیونی ابرهارت و راسل مشخص شد که ژنوتیپ‌های شماره ۲۰ و ۱۵ به‌ترتیب با ضریب رگرسیون ۰/۹۹۹ و ۱/۰۵۳ و میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون ۰/۴۴۷ و ۰/۴۴۷ دارای بالاترین سازگاری عمومی و پایداری عملکرد در مناطق معتدل کشور می‌باشند و لاین‌های ۱۰ و ۱۸ با توجه به کم بودن ضریب رگرسیون (نسبت به b=1) و مقدار کم میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون می‌تواند جزء ژنوتیپ های سازگار برای شرایط ضعیف‌تر در مناطق معتدل در نظر گرفته شوند. محاسبه ضریب تغییرات محیطی فرانسیس و کانبرگ (CVi) نشان داد که لاین‌های شماره ۱۸، ۳، ۱۶ و ۱۰ دارای کمترین ضریب تغییرات محیطی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بودند. روش تعیین پایداری با استفاده از معیار پایداری مولفه واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط پلاستد ($\theta_{(i)}$) در بین لاین‌های مورد بررسی نشان داد که لاین‌های ۲۰، ۱۸، ۱۵ و ۱۰ با داشتن کمترین مقدار بااختصاص رتبه‌های یک تا چهار، جزء پایدارترین لاین‌های مورد بررسی محسوب شدند. گزینش همزمان با توجه به عملکرد دانه و واریانس پایداری در روش کانگ (KR) نشان داد که لاین‌های شماره ۲۰، ۴، ۱۶ و ۵ با بالاترین عملکرد دانه و کمترین مقدار واریانس پایداری جزء لاین‌هایی با سازگاری بالا و پایداری عملکرد مناسب برای محیط‌های مورد بررسی در نظر گرفته شدند. در مجموع با توجه به تمامی آماره‌های پایداری، میانگین و انحراف معیار رتبه آماره‌ها (مقدار کمتر، پایداری بیشتر) و عملکرد دانه، لاین‌های شماره ۲۰، ۴، ۱۶ و ۱۵ بالاترین پایداری عملکرد و سازگاری را نشان دادند (جدول ۴).

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

جدول ۲- آمار هواشناسی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶

Table 2. Meteorological date of Agricultural Research Stations during 2016-17 and 2017-18 cropping seasons

سال زراعی	ایستگاه	مهر		آبان		آذر		دی		بهمن		اسفند		فروردین		اردیبهشت		خرداد		تیر	
		درجه حرارت (c°)	بارندگی (mm)	درجه حرارت(c°)	بارندگی (mm)	درجه حرارت (c°)	بارندگی (mm)	درجه حرارت (c°)	بارندگی (mm)	درجه حرارت (c°)	بارندگی (mm)	درجه حرارت (c°)	بارندگی (mm)	درجه حرارت (c°)	بارندگی (mm)	درجه حرارت (c°)	بارندگی (mm)	درجه حرارت (c°)	بارندگی (mm)	درجه حرارت (c°)	بارندگی (mm)
۹۶-۱۳۹۵	کرج	۱۹/۰	۴/۰	۱۱/۰	۷۷/۰	۵/۰	۲۹/۰	۵/۰	۱۶/۰	۵/۰	۹/۰	۱۲/۰	۱۸/۰	۱۲/۰	۷۶/۰	۲۰/۰	۱۳/۰	۲۴/۰	۰/۰	۲۸/۰	۰/۰
	ورامین	۱۳/۳	۲۱/۰	۷/۱	۱۹/۷	۶/۸	۱۶/۶	۷/۱	۰/۳	۱۴/۰	۳/۵	۱۴/۹	۳۷/۰	۲۴/۰	۶/۹	۲۷/۹	۰/۰	۳۱/۴	۰/۰	۳۰/۴	۰/۰
	بیرجند	۱۷/۸	۰/۰	۹/۶	۳/۱	۹/۲	۱/۸	۴/۵	۱۷/۸	۶/۵	۴۲/۴	۱۲/۴	۱۷/۱	۱۹/۳	۰/۸	۲۴/۹	۵/۶	۲۹/۰	۰/۰	۲۷/۷	۰/۰
	یزد	۲۳/۹	۰/۰	۱۸/۰	۰/۰	۱۰/۰	۱/۹	۹/۱	۱/۵	۹/۰	۹/۰	۱۳/۲	۱/۳	۲۰/۳	۱/۷	۲۵/۵	۱۱/۶	۳۲/۰	۰/۰	۳۵/۱	۰/۰
۹۷-۱۳۹۶	کرج	۱۸/۲	۰/۰	۱۳/۱	۳/۷	۳/۲	۷/۴	۴/۴	۴۴/۰	۱/۹	۵۰/۴	۷/۶	۱۹/۹	۱۲/۷	۳۷/۴	۱۸/۷	۳۳/۹	۲۵/۸	۰/۰	۲۶/۵	۰/۰
	ورامین	۲۰/۴	۰/۰	۱۷/۰	۰/۲	۷/۵	۱/۰	۸/۰	۶/۶	۶/۶	۳۰/۱	۱۱/۲	۱۳/۴	۱۵/۴	۵۰/۹	۲۳/۲	۳۲/۰	۲۸/۵	۰/۰	۳۱/۰	۲/۲
	بیرجند	۱۸/۱	۰/۰	۱۱/۲	۰/۳	۵/۲	۰/۰	۴/۹	۷/۱	۸/۸	۲۲/۶	۱۵/۲	۱۳/۲	۱۸/۱	۲۸/۷	۲۱/۱	۱۳/۰	۲۹/۳	۱۴/۹	۲۶/۵	۰/۰
	یزد	۲۳/۵	۰/۰	۱۸/۰	۰/۰	۱۰/۱	۰/۴	۱۰/۸	۱/۲	۱۱/۰	۷/۴	۱۶/۱	۱/۳	۲۰/۴	۱۱/۱	۲۲/۳	۱۱/۱	۳۱/۰	۱۴/۵	۳۴/۰	۰/۰

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو

Table 3. Combined analysis of variance on grain yield for barley genotypes

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال	۱	۱۳۵/۰۲۳^{ns}
مکان	۷	۱۹۸/۶۲۰*
سال × مکان	۷	۵۰/۴۳۱**
خطای محیط	۳۲	۱/۵۸۸
ژنوتیپ	۱۹	۳/۵۷۳**
ژنوتیپ × سال	۱۹	۱/۶۴^{ns}
ژنوتیپ × مکان	۱۳۳	۱/۶۷۰*
ژنوتیپ × سال × مکان	۱۳۳	۱/۲۳۳**
خطای آزمایشی	۶۰۸	۰/۳۲۳
ضریب تغیرات		۱۱/۸۹

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

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

براتی و همکاران (۶) در ارزیابی پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش جو در اقلیم گرم کشور با استفاده از آماره‌های پایداری ناپارامتری هان و تناراسو (۱۸،۳۲)، پنج لاین را به‌عنوان ژنوتیپ برتر با عملکرد دانه پایدار شناسائی نمودند. رمزی و همکاران (۲۹) در ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امید بخش جو در مناطق گرم و مرطوب کشور با استفاده از تجزیه پایداری بر اساس مدل ابرهارت و راسل (۸)، پارامترهای واریانس و ضریب تغییرات محیطی، واریانس شوکلا(۳۱)، شاخص‌های برتر لین و بینز (۲۰) و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل، دو لاین به همراه ارقام شاهد خرم و ماهور را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه برای اقلیم گرم و مرطوب کشور معرفی کردند.

تحمل و حساسیت به تنش خشکی لاین‌ها

وضعیت تحمل و حساسیت به خشکی لاین‌ها با استفاده از شاخص‌های مختلف برای سال اول و دوم بطور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌ها در شرایط نرمال (آبیاری کامل) و خشکی انتهای فصل در سال اول نشان داد که اثر مکان و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان بر روی عملکرد دانه در هر دو شرایط معنی‌دار بود (جدول ۵). معنی‌دار بودن اثر مکان نشان‌دهنده اختلاف شرایط محیطی در مناطق مورد آزمایش بوده و با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × مکان می‌توان استنباط کرد که عملکرد لاین‌ها در مکان‌های مختلف در نوسان می‌باشد. برای تعیین تحمل لاین‌های تحت بررسی به تنش خشکی بر مبنای عملکرد دانه از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تنش (Y_S) و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش (Y_P) در سال اول استفاده شد و میزان شاخص‌های تحمل به خشکی براساس این دو پارامتر تعیین گردیدند (جدول ۶). براساس دو شاخص SSI و TOL و درصد افت عملکرد که مقادیر پایین عددی آنها نشان‌دهنده حساسیت کمتر ژنوتیپ نسبت به تنش می‌باشد، با در نظر گرفتن شاخص SSI و درصد افت عملکرد، لاین‌های ۱۹، ۷، ۴ و ۱۴ و براساس شاخص TOL لاین‌های ۱۹، ۱۸، ۱۴ و ۷ در مقایسه با سایر لاین‌ها به‌عنوان لاین‌هایی با حساسیت کمتر نسبت به خشکی آخر فصل شناسایی شدند. از طرفی براساس شاخص‌های MP، GMP، HM و STI که مقادیر بالای آن‌ها دلالت بر تحمل بالاتر ژنوتیپ تحت بررسی دارد، لاین‌های ۴، ۱۱، ۱۶ و ۱۷ به عنوان ژنوتیپ‌های با تحمل به خشکی و عملکرد بالا در هر دو شرایط شناسایی شدند. براساس شاخص YI لاین‌های ۴، ۱۷، ۸ و ۷ و با در نظر گرفتن شاخص‌های YSI و RSI لاین‌های ۱۹، ۷، ۴ و ۱۴ به عنوان ژنوتیپ‌های با تحمل به خشکی بالا شناسایی شدند. مقادیر بالای شاخص‌های MP، GMP، HM، STI، YI، YSI و RSI برای یک ژنوتیپ حاکی از آن است که آن ژنوتیپ تحمل به تنش بالاتر و پتانسیل عملکرد بیش‌تری دارد. بر اساس نتایج مربوط به رتبه ژنوتیپ‌های جو برای هر یک از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی (رتبه مربوط به هر ژنوتیپ از نظر شاخص مورد نظر داخل پرانتز در جدول ۵ ارائه شده است)، میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه ژنوتیپ‌های جو برای کلیه شاخص‌های مورد استفاده محاسبه و نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴، ۱۱، ۱۶ و۱۷ به‌عنوان لاین‌های برتر در سال اول آزمایش شناخته شدند (جدول ۶). نتایج همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) و شاخص‌های مختلف نشان داد که همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) مثبت ($r=۰/۴۱۵$) بود. عملکرد دانه در شرایط بدون تنش با شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و TOL همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار در سطح ۱٪ نشان داد. عملکرد دانه در شرایط تنش با شاخص‌های MP، GMP، STI، HM ،YI، YSI و RSI همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار در سطح ۱٪ و با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (شکل ۱). به‌طور کلی شاخص‌هایی که دارای همبستگی نسبتا بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بودند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌گردند. با توجه به شکل۱ ملاحظه می‌شود که شاخص‌های MP، GMP، STI و HM با توجه به همبستگی‌های معنی‌دار و بالایی که با عملکرد دانه در هر دو محیط دارا هستند، شاخص‌های مناسبی می‌باشند. گل آبادی و همکاران (۱۷) شاخص‌های MP، STI وGMP را درگندم دوروم به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای دستیابی به ارقام پر محصول درشرایط تنش و غیرتنش معرفی کردند. نتایج حاصل از مطالعات محققان مختلف (۱، ۳، ۴، ۹، ۲۲ و ۲۵) نیز نشان داد که شاخص‌های MP، STI و GMP بالاترین میزان همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش دارا می‌باشند که با نتایج مطالعه حاضر تطابق دارد.

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه و آماره‌های پایداری و رتبه آماره‌های پایداری ژنوتیپ‌های جو

Table 4. Grain yield average, stability statistics and rank of stability statistics in barley genotypes

ژنوتیپ	Y	$S^{(6)}$	$NP^{(4)}$	σ^2_i	s^2d_i	b_i	CVi	$\theta_{(i)}$	KR	AR	SDR
۱	۴/۹۱۲(۹)	۶/۳۹۴(۸)	۰/۵۸۷(۸)	۰/۹۲۹(۱۹)	۱/۸۳۴(۱۹)	۱/۰۴۲	۳۵/۹۷(۱۶)	۰/۴۴۸(۱۹)	۲۸(۱۶)	۱۴/۲۵	۵/۰۶۴
۲	۴/۶۹۴(۱۰)	۹/۰۲۶(۱۸)	۰/۷۹۷(۱۸)	۰/۷۱۲(۱۷)	۱/۳۲۴(۱۷)	۰/۸۵۱	۳۱/۰۸(۷)	۰/۴۵۹(۱۷)	۲۷(۱۵)	۱۴/۸۸	۴/۱۲۱
۳	۴/۹۲۴(۷)	۷/۶۴۴(۱۰)	۰/۶۳۴(۹)	۰/۴۲۲(۱۳)	۰/۷۷۹(۱۱)	۰/۸۶۱	۲۸/۰۸(۲)	۰/۴۷۵(۱۳)	۲۰(۸)	۹/۱۳	۳/۶۰۳
۴	۵/۱۶۳(۳)	۳/۶۲۷(۱)	۰/۳۵۱(۱)	۰/۳۴۱(۷)	۰/۶۶۹(۷)	۱/۰۹۴	۳۲/۴۸(۸)	۰/۴۷۹(۷)	۱۰(۲)	۴/۵۰	۳/۰۲۴
۵	۴/۹۸۱(۵)	۶/۱۲۱(۷)	۰/۵۳۵(۷)	۰/۳۶۱(۸)	۰/۷۴۰(۸)	۰/۹۶۰	۳۰/۲۵(۶)	۰/۴۷۸(۸)	۱۳(۴)	۶/۶۳	۱/۵۰۶
۶	۴/۵۳۰(۱۶)	۷/۸۸۷(۱۴)	۰/۷۱۵(۱۴)	۰/۴۱۸(۱۲)	۰/۸۵۷(۱۳)	۰/۹۹۱	۳۴/۵۶(۱۳)	۰/۴۷۵(۱۲)	۲۸(۱۶)	۱۳/۷۵	۱/۵۸۱
۷	۵/۲۳۴(۲)	۷/۶۶۵(۱۱)	۰/۶۵۰(۱۰)	۱/۳۰۳(۲۰)	۲/۵۳۵(۲۰)	۱/۰۷۹	۳۶/۳۲(۱۷)	۰/۴۲۸(۲۰)	۲۲(۱۱)	۱۳/۸۸	۶/۴۹۰
۸	۴/۶۰۸(۱۴)	۷/۶۷۱(۱۲)	۰/۶۸۵(۱۳)	۰/۳۸۵(۱۱)	۰/۷۵۴(۹)	۱/۰۹۳	۳۶/۶۱(۱۸)	۰/۴۷۷(۱۱)	۲۵(۱۳)	۱۲/۶۳	۲/۶۶۹
۹	۴/۶۰۹(۱۳)	۱۲/۸۶۳(۲۰)	۰/۹۸۳(۲۰)	۰/۸۶۴(۱۸)	۱/۵۰۹(۱۸)	۱/۲۱۶	۴۲/۲۳(۲۰)	۰/۴۵۱(۱۸)	۳۱(۱۹)	۱۸/۲۵	۲/۳۱۵
۱۰	۴/۵۲۲(۱۷)	۸/۴۸۹(۱۶)	۰/۶۸۰(۱۱)	۰/۲۱۹(۴)	۰/۳۹۸(۲)	۰/۸۷۱	۲۹/۴۳(۴)	۰/۴۸۵(۴)	۲۱(۱۰)	۸/۵۰	۵/۸۵۵
۱۱	۴/۹۵۲(۶)	۵/۱۲۹(۴)	۰/۴۷۴(۴)	۰/۵۳۱(۱۶)	۱/۰۷۴(۱۶)	۱/۰۰۲	۳۲/۵۵(۹)	۰/۴۶۹(۱۶)	۲۲(۱۱)	۱۰/۲۵	۵/۳۱۲
۱۲	۴/۴۴۲(۱۹)	۷/۶۸۵(۱۳)	۰/۷۲۵(۱۶)	۰/۴۷۸(۱۵)	۰/۹۲۱(۱۵)	۰/۸۹۲	۳۲/۵۶(۱۰)	۰/۴۷۲(۱۵)	۳۴(۲۰)	۱۵/۳۸	۳/۱۵۹
۱۳	۴/۶۵۶(۱۲)	۸/۷۱۷(۱۷)	۰/۷۱۸(۱۵)	۰/۳۲۵(۶)	۰/۶۴۶(۶)	۱/۰۸۳	۳۵/۶۱(۱۵)	۰/۴۸۰(۶)	۱۷(۶)	۱۰/۲۵	۴/۸۳۳
۱۴	۴/۴۲۱(۲۰)	۸/۲۹۳(۱۵)	۰/۷۳۰(۱۷)	۰/۳۱۷(۵)	۰/۶۴۳(۵)	۱/۰۶۶	۳۶/۹۸(۱۹)	۰/۴۸۰(۵)	۲۵(۱۳)	۱۲/۳۸	۶/۴۷۹
۱۵	۴/۶۲۷(۱۲)	۵/۴۷۷(۵)	۰/۵۱۳(۵)	۰/۲۱۲(۳)	۰/۴۴۷(۳)	۱/۰۵۳	۳۴/۳۳(۱۲)	۰/۴۸۶(۳)	۱۵(۵)	۶/۰۰	۳/۸۱۷
۱۶	۵/۳۰۵(۱)	۴/۳۴۲(۳)	۰/۳۷۷(۳)	۰/۳۸۴(۱۰)	۰/۷۸۸(۱۲)	۰/۹۷۱	۲۸/۸۲(۳)	۰/۴۷۷(۱۰)	۱۱(۳)	۵/۶۳	۴/۲۷۴
۱۷	۴/۹۲۱(۸)	۵/۸۵۶(۶)	۰/۵۳۱(۶)	۰/۳۸۲(۹)	۰/۷۵۶(۱۰)	۱/۰۸۵	۳۴/۰۶(۱۱)	۰/۴۷۷(۹)	۱۷(۶)	۸/۱۳	۱/۹۵۹
۱۸	۴/۴۹۷(۱۸)	۷/۵۱۵(۹)	۰/۶۸۵(۱۲)	۰/۲۰۹(۲)	۰/۲۵۴(۱)	۰/۷۸۹	۲۶/۴۷(۱)	۰/۴۸۶(۲)	۲۰(۸)	۶/۶۳	۶/۲۳۲
۱۹	۴/۵۷۴(۱۵)	۹/۳۵۸(۱۹)	۰/۸۱۱(۱۹)	۰/۴۴۲(۱۴)	۰/۹۰۳(۱۴)	۱/۰۰۰	۳۴/۶۴(۱۴)	۰/۴۷۴(۱۴)	۲۹(۱۸)	۱۵/۸۸	۲/۳۵۷
۲۰	۵/۰۲۳(۴)	۴/۲۹۴(۲)	۰/۳۷۳(۲)	۰/۲۰۶(۱)	۰/۴۴۷(۴)	۰/۹۹۹	۳۰/۱۴(۵)	۰/۴۸۷(۱)	۵(۱)	۲/۵۰	۱/۶۰۴
LSD%5	۰/۵۰۵۵										

Y: میانگین عملکرد دانه، $S^{(6)}$: آماره ناپارامتری هان (Huhn,1990)، $NP^{(4)}$: آماره ناپارامتری تناراسو (Thennarasu, 1995)، σ^2_i: واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972)، s^2d_i و b_i: انحراف از خط رگرسیون و ضریب رگرسیون ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966)، CVi: ضریب واریانس محیطی فرانسیس و کانتبرگ (۱۹۸۷)، $\theta_{(i)}$: مولفه واریانس اثر متقابل GE پلاستد (Plaisted, 1960)، KR: آماره گزینش همزمان کانگ (Kang, 1988)، AR: میانگین رتبه هر ژنوتیپ در کل آماره‌ها و SDR: انحراف معیار رتبه هر ژنوتیپ در کل آماره‌ها. اعداد داخل پرانتز، رتبه مربوط به هر ژنوتیپ از نظر آن آماره پایداری می‌باشد، بهترین ژنوتیپ عدد کوچک‌تر و ضعیف‌ترین ژنوتیپ عدد بزرگتر را به خود اختصاص داده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در سال اول و دوم

Table 5. Analysis of variance for grain yield in barley genotypes under non-stress and stress conditions in first and secondyear

منابع تغییرات	درجه آزادی	سال اول		سال دوم	
		میانگین مربعات در شرایط آبیاری کامل	میانگین مربعات در شرایط تنش خشکی انتهای فصل	میانگین مربعات در شرایط آبیاری کامل	میانگین مربعات در شرایط تنش خشکی انتهای فصل
مکان	۳	۲۰۰/۱۵**	۲۱۳/۰۶**	۲۵/۰۵**	۴۸/۶۵**
خطای محیط	۸	۲/۵۶	۳/۰۰۴	۰/۳۱۲	۰/۴۷۳
ژنوتیپ	۱۹	۱/۰۴۹^{ns}	۰/۹۰۳^{ns}	۲/۰۶۳^{ns}	۲/۴۵۰^{ns}
ژنوتیپ × مکان	۵۷	۰/۹۸۴**	۰/۷۱۹**	۲/۵۷۴**	۱/۸۴۰**
خطای آزمایشی	۱۵۲	۰/۲۸۹	۰/۲۵۴	۰/۳۲۵	۰/۴۲۳
ضریب تغییرات		۹/۲۷	۱۱/۱۷	۱۱/۸۰	۱۶/۳۴

ns ,*,**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

فرناندز (۱۱) ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش و بدون تنش را از نظر پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش به چهار گروه تقسیم کرد. گروه A شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند. بنابراین شاخصی مناسب است که بتواند گروه A را از بقیه گروه‌ها جدا کند. برای جدا کردن ژنوتیپ‌های گروه A از نمودار سه بعدی حاصل از عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S)، بدون تنش (Y_P) و شاخص STI استفاده گردید. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود لاین‌های ۱۶، ۱۱، ۵، ۴، ۱۷، ۲۰ و ۳ در گروه A قرار گرفتند و این لاین‌ها توانایی تولید عملکرد بالاتر در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را نسبت به سایر لاین‌ها در سال اول آزمایش نشان دادند. سایر لاین‌ها در گروه C و D قرار گرفتند (شکل ۲).

برای مطالعه روابط بین بیش از سه متغیر، یک شکل حاصل از نمایش چند متغیره مانند نمایش بای‌پلات مفید می‌باشد. بدین منظور، ماتریس که از داده‌های شامل ژنوتیپ‌ها و عملکرد بدون تنش، عملکرد تحت تنش و شاخص‌های مختلف حساسیت و تحمل به تنش تشکیل شده بود، از طریق تجزیه به مولفه‌های اصلی به ۶ مولفه تقسیم شد، بیش‌ترین تغییرات مورد نظر بین داده‌ها توسط دو مؤلفه اول بیان شد (۹۹/۹۸). در این بررسی اولین مؤلفه ۶۱/۰۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت با عملکرد در شرایط تنش (Y_S) و شاخص‌های GMP، STI، MP، HM و YI همبستگی منفی معنی‌داری با SSI داشت. از این‌رو می‌تواند به‌عنوان مولفه پتانسیل و تحمل به‌خشکی نام‌گذاری شود. این مولفه قادر است ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و حساس به تنش جدا کند. دومین مؤلفه ۳۸/۹۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها را تفسیر نموده و دارای همبستگی مثبت و بالایی با عمکرد بدون تنش (Y_P) و شاخص‌های TOL و SSI و همبستگی منفی معنی‌داری با شاخص RSI و YSI داشت. بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش که ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در شرایط تنش و مقادیر بالای TOL و SSI را جدا می‌کند، نام نهاد. همان‌طور که از شکل۳ پیداست، با توجه به زوایای خطوطی که شاخص‌ها نمایش می‌دهند، ملاحظه می‌شود که شاخص‌های SSI و TOL همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش (Y_S) و همبستگی مثبت با عملکرد در شرایط بدون تنش (Y_P) دارند. همین‌طور شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI با هردو عملکرد تنش و بدون تنش همبستگی مثبت دارند. لاین‌های ۴، ۱۷، ۱۶، ۲۰ و ۱۱ که در ناحیه بالای سمت راست نمودار بای‌پلات هستند دارای پتانسیل بالای عملکرد بوده و حساسیت کمی نسبت به خشکی دارند (شکل۳).

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

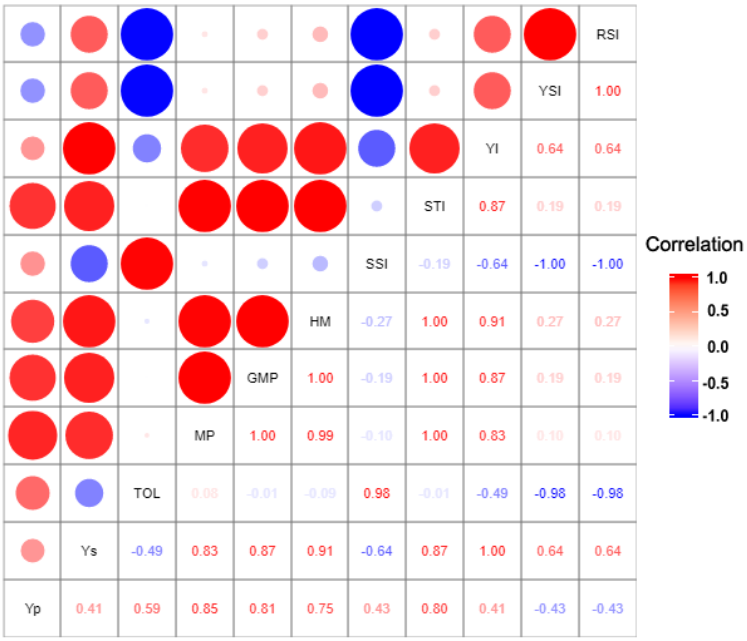
جدول ۶- شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شده و رتبه، میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه مربوط به هر شاخص در ژنوتیپ‌های جو در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵(سال اول)

Table 6. Drought tolerant indices and Rank, average of rank and standard deviation of rank for each indices for barley genotypes in 2016-2017(first year)

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	افت عملکرد(٪)	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	AR	SDR
۱	۵/۸۶۱(۹)	۴/۷۵۴(۵)	۱/۱۰۷(۶)	۱۸/۹(۷)	۵/۳۰۸(۷)	۵/۲۷۹(۷)	۵/۲۵۰(۶)	۰/۸۵۵(۷)	۰/۸۳۰(۷)	۱/۰۵۳(۵)	۰/۸۱۱(۷)	۱/۰۴۱(۷)	۶/۶۳۶	۱/۱۲۰
۲	۵/۷۱۵(۱۲)	۴/۵۲۹(۱۰)	۱/۱۸۶(۱۲)	۲۰/۸(۹)	۵/۱۲۲(۱۱)	۵/۰۸۸(۱۲)	۵/۰۵۳(۱۲)	۰/۹۴۰(۹)	۰/۷۷۱(۱۲)	۱/۰۰۳(۱۰)	۰/۷۹۲(۹)	۱/۰۱۷(۹)	۱۰/۷۳	۱/۳۴۸
۳	۶/۰۱۸(۵)	۴/۰۷۵(۱۹)	۱/۹۴۳(۲۰)	۳۲/۳(۲۰)	۵/۰۴۷(۱۳)	۴/۹۵۲(۱۵)	۴/۸۵۹(۱۶)	۱/۴۶۲(۲۰)	۰/۷۳۰(۱۵)	۰/۹۰۳(۱۹)	۰/۶۷۷(۲۰)	۰/۸۶۹(۲۰)	۱۶/۵۵	۴/۵۹۱
۴	۶/۰۵۰(۴)	۴/۹۹۹(۱)	۱/۰۵۱(۵)	۱۷/۴(۳)	۵/۵۲۵(۱)	۵/۴۹۹(۱)	۵/۴۷۵(۱)	۰/۷۸۷(۳)	۰/۹۰۱(۱)	۱/۱۰۷(۱)	۰/۸۲۶(۳)	۱/۰۶۰(۳)	۲/۱۸۲	۱/۴۷۱
۵	۶/۱۶۸(۳)	۴/۳۰۷(۱۴)	۱/۸۶۱(۱۹)	۳۰/۲(۱۹)	۵/۲۳۸(۹)	۵/۱۵۴(۹)	۵/۰۷۲(۱۰)	۱/۳۶۶(۱۹)	۰/۷۹۱(۹)	۰/۹۵۴(۱۴)	۰/۶۹۸(۱۹)	۰/۸۹۶(۱۹)	۱۳/۰۹۱	۵/۵۰۴
۶	۵/۶۳۵(۱۴)	۴/۴۵۳(۱۲)	۱/۱۸۲(۱۱)	۲۱/۰(۱۱)	۵/۰۴۴(۱۴)	۵/۰۰۹(۱۳)	۴/۹۷۵(۱۳)	۰/۹۵۰(۱۱)	۰/۷۴۷(۱۳)	۰/۹۸۶(۱۲)	۰/۷۹۰(۱۱)	۱/۰۱۴(۱۱)	۱۲/۲۷۳	۱/۱۹۱
۷	۵/۷۵۱(۱۱)	۴/۷۶۷(۴)	۰/۹۸۴(۴)	۱۷/۱(۲)	۵/۲۵۹(۸)	۵/۲۳۶(۸)	۵/۲۱۳(۸)	۰/۷۷۵(۲)	۰/۸۱۷(۸)	۱/۰۵۶(۴)	۰/۸۲۹(۲)	۱/۰۶۴(۲)	۵/۵۴۵	۳/۱۴۲
۸	۵/۸۹۱(۸)	۴/۷۷۷(۳)	۱/۱۱۴(۷)	۱۸/۹(۸)	۵/۳۳۴(۵)	۵/۳۰۵(۵)	۵/۲۷۶(۵)	۰/۸۵۶(۸)	۰/۸۳۸(۵)	۱/۰۵۸(۳)	۰/۸۱۰(۸)	۱/۰۴۱(۸)	۵/۹۰۹	۱/۹۷۳
۹	۵/۴۴۷(۱۸)	۴/۲۷۶(۱۷)	۱/۱۷۱(۱۰)	۲۱/۵(۱۲)	۴/۸۶۲(۱۷)	۴/۸۲۶(۱۷)	۴/۷۹۱(۱۷)	۰/۹۷۴(۱۲)	۰/۶۹۴(۱۷)	۰/۹۴۷(۱۷)	۰/۷۸۵(۱۲)	۱/۰۰۷(۱۲)	۱۵/۰۹۱	۲/۹۱۴
۱۰	۵/۴۱۴(۱۹)	۴/۲۸۰(۱۶)	۱/۱۳۴(۹)	۲۰/۹(۱۰)	۴/۸۴۷(۱۸)	۴/۸۱۴(۱۸)	۴/۷۸۱(۱۸)	۰/۹۴۹(۱۰)	۰/۶۹۰(۱۸)	۰/۹۴۸(۱۶)	۰/۷۹۱(۱۰)	۱/۰۱۵(۱۰)	۱۴/۷۲۷	۴/۰۵۲
۱۱	۶/۳۲۴(۱)	۴/۶۵۲(۸)	۱/۶۷۲(۱۸)	۲۶/۴(۱۷)	۵/۴۸۸(۲)	۵/۴۲۴(۳)	۵/۳۶۱(۳)	۱/۱۹۷(۱۷)	۰/۸۷۶(۳)	۱/۰۳۰(۸)	۰/۷۳۶(۱۷)	۰/۹۴۴(۱۷)	۸/۸۱۸	۷/۰۴۰
۱۲	۵/۷۱۴(۱۳)	۴/۲۶۵(۱۸)	۱/۴۴۹(۱۵)	۲۵/۴(۱۶)	۴/۹۹۰(۱۵)	۴/۹۳۷(۱۶)	۴/۸۸۴(۱۵)	۱/۱۴۸(۱۶)	۰/۷۲۶(۱۶)	۰/۹۴۵(۱۸)	۰/۷۴۶(۱۶)	۰/۹۵۸(۱۶)	۱۵/۸۱۸	۱/۴۰۱
۱۳	۵/۶۰۸(۱۵)	۳/۹۷۹(۲۰)	۱/۶۲۹(۱۷)	۲۹/۰(۱۸)	۴/۷۹۴(۱۹)	۴/۷۲۴(۲۰)	۴/۶۵۵(۲۰)	۱/۳۱۵(۱۸)	۰/۶۶۵(۲۰)	۰/۸۸۱(۲۰)	۰/۷۱۰(۱۸)	۰/۹۱۱(۱۸)	۱۸/۶۳۶	۱/۶۲۹
۱۴	۵/۴۵۳(۱۷)	۴/۵۰۳(۱۱)	۰/۹۵۰(۳)	۱۷/۴(۴)	۴/۹۷۸(۱۶)	۴/۹۵۵(۱۴)	۴/۹۳۳(۱۴)	۰/۷۸۹(۴)	۰/۷۳۱(۱۴)	۰/۹۹۷(۱۱)	۰/۸۲۶(۴)	۱/۰۶۰(۴)	۱۰/۱۸۲	۵/۴۰۰
۱۵	۵/۸۴۵(۱۰)	۴/۴۵۲(۱۳)	۱/۳۹۳(۱۴)	۲۳/۸(۱۵)	۵/۱۴۹(۱۰)	۵/۱۰۱(۱۰)	۵/۰۵۴(۱۱)	۱/۰۷۹(۱۵)	۰/۷۷۵(۱۰)	۰/۹۸۶(۱۳)	۰/۷۶۱(۱۵)	۰/۹۷۷(۱۵)	۱۲/۳۶۴	۲/۲۰۳
۱۶	۶/۱۹۵(۲)	۴/۷۱۹(۶)	۱/۴۷۶(۱۶)	۲۳/۷(۱۴)	۵/۴۵۷(۳)	۵/۴۰۷(۴)	۵/۳۵۷(۴)	۱/۰۷۸(۱۴)	۰/۸۷۱(۴)	۱/۰۴۵(۶)	۰/۷۶۲(۱۴)	۰/۹۷۸(۱۴)	۷/۹۰۹	۵/۳۷۵
۱۷	۶/۰۱۵(۷)	۴/۸۹۹(۲)	۱/۱۱۶(۸)	۱۸/۶(۶)	۵/۴۵۷(۴)	۵/۴۲۸(۲)	۵/۴۰۰(۲)	۰/۸۴۰(۶)	۰/۸۷۸(۲)	۱/۰۸۵(۲)	۰/۸۱۴(۶)	۱/۰۴۵(۶)	۴/۲۷۳	۲/۳۷۰
۱۸	۵/۲۱۶(۲۰)	۴/۲۹۵(۱۵)	۰/۹۲۱(۲)	۱۷/۷(۵)	۴/۷۵۶(۲۰)	۴/۷۳۳(۱۹)	۴/۷۱۱(۱۹)	۰/۸۰۰(۵)	۰/۶۶۷(۱۹)	۰/۹۵۱(۱۵)	۰/۸۲۳(۵)	۱/۰۵۷(۵)	۱۳/۰۹۱	۷/۲۵۹
۱۹	۵/۵۵۲(۱۶)	۴/۶۶۹(۷)	۰/۸۸۳(۱)	۱۵/۹(۱)	۵/۱۱۱(۱۲)	۵/۰۹۱(۱۱)	۵/۰۷۲(۹)	۰/۷۲۰(۱)	۰/۷۷۲(۱۱)	۱/۰۳۴(۷)	۰/۸۴۱(۱)	۱/۰۷۹(۱)	۷/۰۰	۵/۳۴۸
۲۰	۶/۰۱۸(۵)	۴/۶۵۰(۹)	۱/۳۶۸(۱۳)	۲۲/۷(۱۳)	۵/۳۳۴(۵)	۵/۲۹۰(۶)	۵/۲۴۶(۷)	۱/۰۲۹(۱۳)	۰/۸۳۳(۶)	۱/۰۳۰(۹)	۰/۷۷۳(۱۳)	۰/۹۹۲(۱۳)	۹/۰۰	۳/۴۳۵
LSD%5	۰/۸۱۱	۰/۶۹۳												

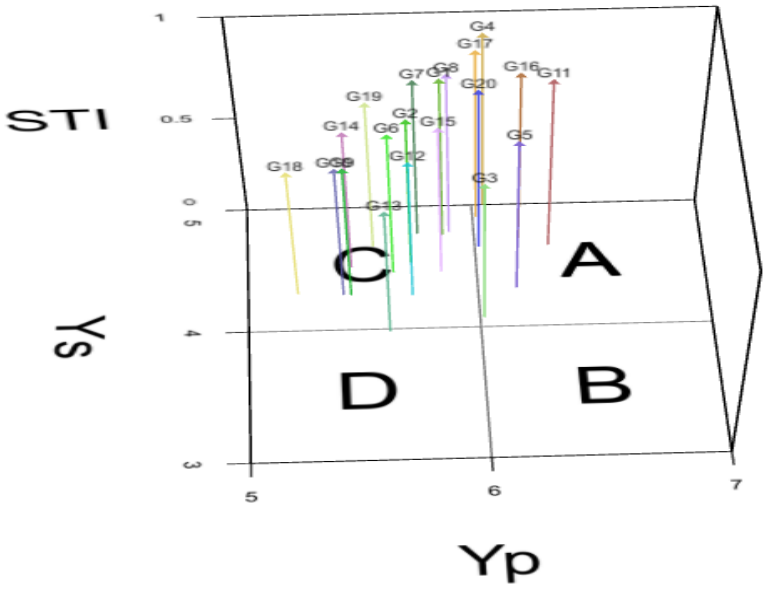
میانگین عملکرد ژنوتیپ در محیط بدون تنش (Yp): Yield under non-stress conditions، میانگین عملکرد ژنوتیپ در محیط تنش (Ys) :Yield under stress conditions، شاخص‌های حساسیت به خشکی (SSI): Stress Susceptibility Index، شاخص تحمل(TOL) Tolerance Index، میانگین بهره‌وری (MP): Mean Productivity ، میانگین هندسی (GMP): Geometric Mean Productivity، شاخص تحمل به خشکی (STI): Stress Tolerance Index، میانگین هارمونیک(HM): Harmonic Mean، شاخص عملکرد (YI): Yield Index، شاخص پایداری عملکرد (YSI): Yield Stability Index و شاخص نسبی خشکی(RSI): Relative Drought Index، میانگین رتبه هر ژنوتپ در کل شاخص‌ها (AR): Average of Rank و انحراف معیار رتبه هر ژنوتپ در کل شاخص‌ها (SDR) : Standard Devesion of Rank.

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]



شکل ۱- ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) و شاخص‌های مختلف در سال اول (۱۳۹۶-۱۳۹۵)

Figure 1. Simple correlation coefficients between grain yield under stress (YS) and no stress (YP) and different indices in the first year (2016-2017)

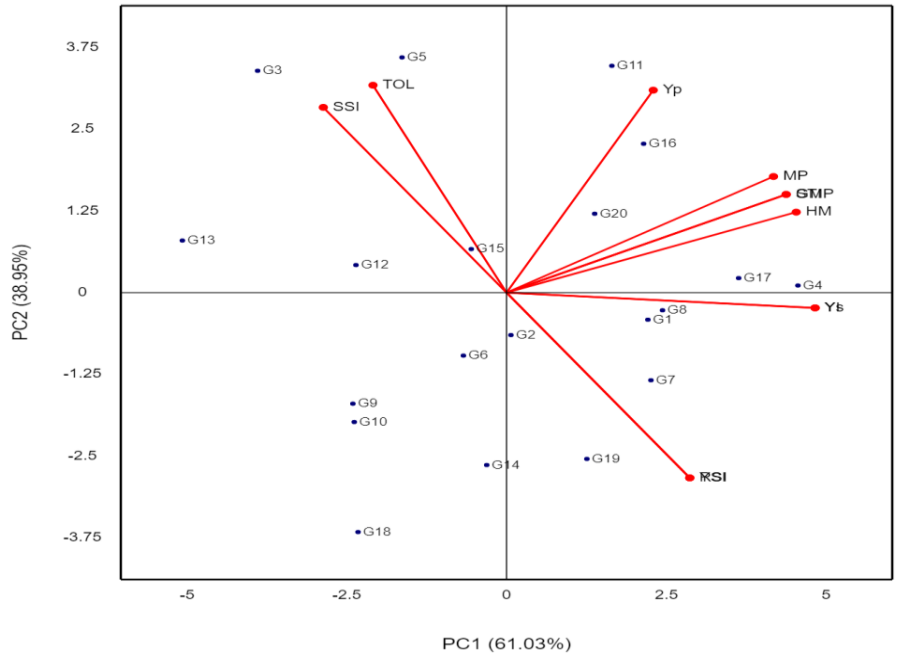


شکل ۲- نمودار سه بعدی عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) و شاخص STI برای لاین‌های جو در سال اول (۱۳۹۶-۱۳۹۵)

Figure 2. Three-dimensional graph of grain yield under stress (YS) and no stress (YP) and STI index for barley lines in the first year (2016-2017)

گروه: A شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند. گروه‌های B و C ژنوتیپ‌هایی هستند که به‌ترتیب فقط در شرایط محیطی بدون تنش و شرایط تنش عملکرد بالایی دارند، ولی گروه D شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و غیر تنش عملکرد پایینی دارند.

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]



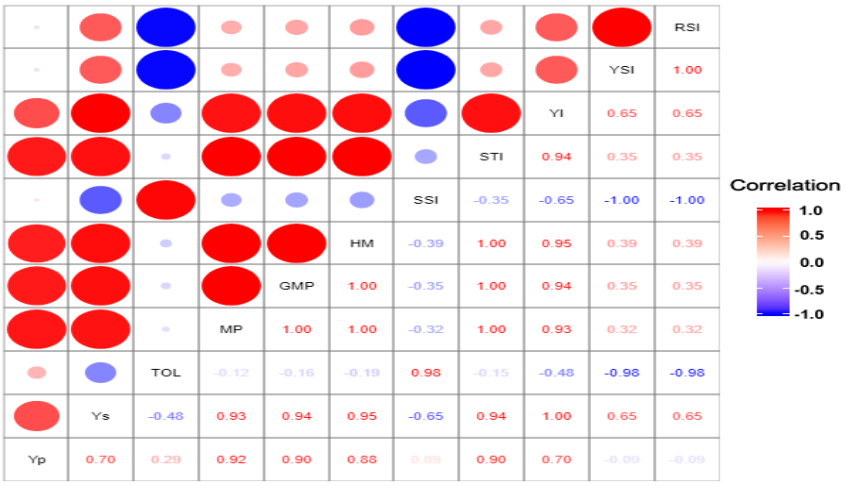
شکل ۳- بای‌پلات ۲۰ ژنوتیپ جو در هشت شاخص تحمل به خشکی و عملکرد تحت تنش و بدون تنش خشکی بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی در سال اول (۱۳۹۵-۱۳۹۶)

Figure 3. Biplot of 20 barley genotypes in eight indices of drought tolerance and yield under drought stress and drought stress based on the first and second main components in first year (2016-2017)

در سال دوم آزمایش، تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌ها در شرایط نرمال (آبیاری کامل) و خشکی انتهای فصل نشان داد که اثر مکان و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان بر روی عملکرد دانه در هر دو شرایط معنی‌دار بود (جدول ۵). در سال دوم آزمایش میزان شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی بر مبنای میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تنش (Y_S) و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش (Y_P) محاسبه گردید (جدول ۷). براساس دو شاخص SSI و TOL و درصد افت عملکرد، لاین‌های ۱۷، ۱، ۷ و ۱۰ به‌ترتیب در مقایسه با سایر لاین‌ها به‌عنوان لاین‌هایی با حساسیت کمتر نسبت به خشکی آخر فصل شناسایی شدند. از طرفی براساس شاخص‌های MP، GMP، HM و STI، لاین‌های ۷، ۱۶، ۳ و ۴ به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های با تحمل به خشکی و عملکرد بالا در هر دو شرایط در سال دوم شناسایی شدند. براساس شاخص YI لاین‌های ۷، ۱۶، ۳ و ۱ و با در نظر گرفتن شاخص‌های YSI و RSI لاین‌های ۱۷، ۱، ۷ و ۱۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های با تحمل بالاتر شناسایی شدند. مقادیر بالای شاخص‌های MP، GMP، HM، STI، YI، YSI و RSI برای یک ژنوتیپ حاکی از آن است.

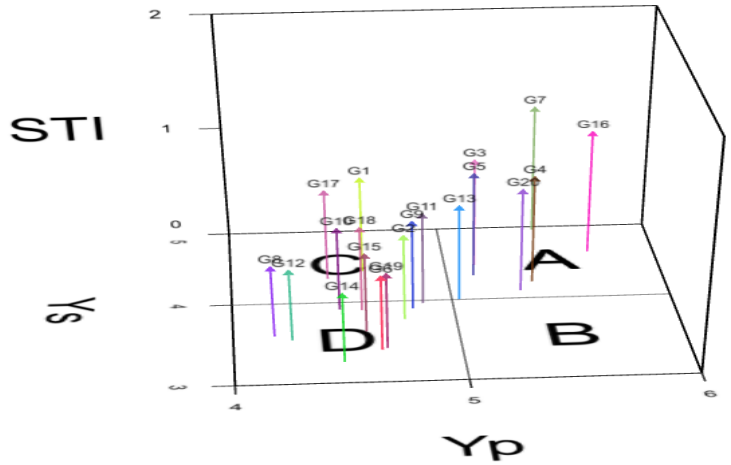
که آن ژنوتیپ تحمل به تنش بالاتر و پتانسیل عملکرد بیش‌تری دارد. بر اساس نتایج مربوط به رتبه ژنوتیپ‌های جو برای هر یک از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی، میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه ژنوتیپ‌های جو برای کلیه شاخص‌های مورد استفاده محاسبه و نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های ۷، ۳، ۱ و ۱۶ با کمترین مقدار متوسط رتبه و انحراف معیار رتبه به‌عنوان لاین‌های برتر در سال دوم آزمایش شناخته شدند (جدول ۷). نتایج همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) و شاخص‌های مختلف در سال دوم نشان داد که همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) مثبت و بسیار معنی‌دار (r=۰/۷۰۱**) بود. عملکرد دانه در شرایط بدون تنش با شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار در سطح ۱٪ نشان داد. عملکرد دانه در شرایط تنش با شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI، YSI و RSI همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار در سطح ۱٪ و با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (شکل ۴). به‌طور کلی شاخص‌هایی که دارای همبستگی مثبت نسبتا بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بودند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌گردند. با توجه به شکل۴ ملاحظه می‌شود همانند سال اول شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI با توجه به همبستگی‌های معنی‌دار و بالایی که با عملکرد دانه در هر دو شرایط دارا هستند، شاخص‌های مناسبی می‌باشند. بر اساس گروه‌بندی فرناندز (۱۱)، برای جدا کردن ژنوتیپ‌های گروه A از نمودار سه بعدی حاصل از عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S)، بدون تنش (Y_P) و شاخص STI استفاده گردید. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود لاین‌های ۱۶، ۷، ۴، ۲۰، ۳ و ۵ در گروه A قرار گرفتند و این لاین‌ها توانایی تولید عملکرد بالاتر در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را نسبت به سایر لاین‌ها در سال دوم آزمایش نشان دادند. سایر لاین‌ها در گروه‌های B، C و D قرار گرفتند (شکل ۵).

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]



شکل ۴- ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) و شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به خشکی در سال دوم (۱۳۹۷-۱۳۹۶)

Figure 4. Simple correlation coefficients between grain yield under stress (YS) and no stress (YP) and different indices in the second year (2017-2018)



شکل ۵- نمودار سه بعدی عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) و شاخص STI برای لاین‌های جو در سال دوم (۱۳۹۷-۱۳۹۶)

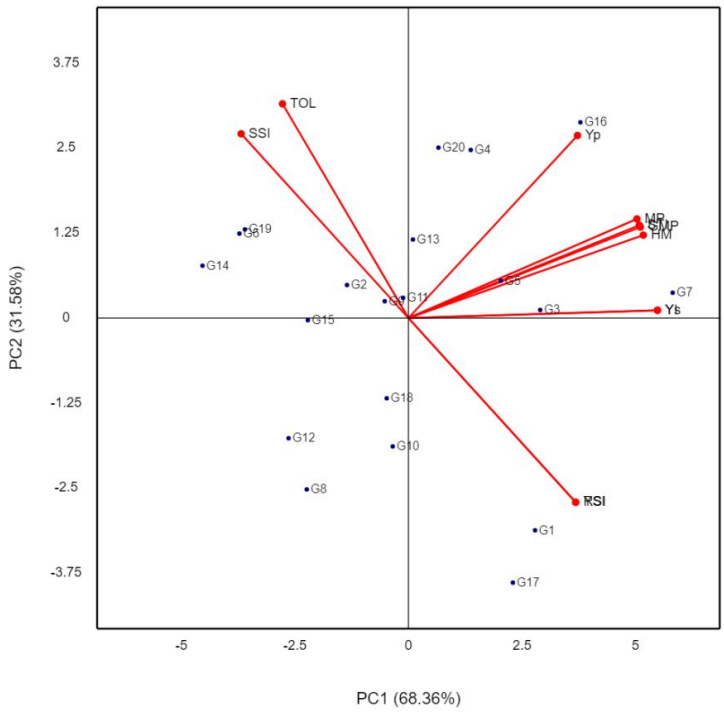
Figure 5. Three-dimensional graph of grain yield under stress (YS) and no stress (YP) and STI index for barley lines in the second year (2017-2018)

گروه A: شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند. گروه‌های B و C ژنوتیپ‌هایی هستند که به‌ترتیب فقط در شرایط محیطی بدون تنش و شرایط تنش عملکرد بالایی دارند، ولی گروه D شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و غیرتنش عملکرد پایینی دارند.

در سال دوم آزمایش با توجه نمودار بای پلات که بیش‌ترین تغییرات مورد نظر بین داده‌ها توسط دو مؤلفه اول بیان شد (۹۹/۹۴٪)، اولین مؤلفه ۶۸/۳۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت با عملکرد در شرایط تنش (Y_S) و شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI و همبستگی منفی با SSI و TOL داشت. از این‌رو می‌تواند به‌عنوان مولفه پتانسیل و تحمل به‌خشکی نام‌گذاری شود. این مولفه قادر است ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و حساس به تنش را جدا کند. دومین مؤلفه ۳۱/۵۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها را تفسیر نموده و دارای همبستگی مثبت و بالایی با عمکرد بدون تنش (Y_P) و شاخص‌های TOL و SSI و همبستگی منفی معنی‌داری با شاخص RSI و YSI داشت. بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش که ژنوتیپ‌های با عمکرد پایین در شرایط تنش و مقادیر بالای TOLو SSI را جدا می‌کند، نام نهاد (شکل ۶). همان‌طور که از شکل۶ پیداست، لاین‌های ۷، ۳، ۱۶، ۴، ۲۰ و ۵ که در ناحیه بالای سمت راست نمودار بای‌پلات هستند دارای پتانسیل بالای عملکرد بوده و حساسیت کمی نسبت به خشکی دارند (شکل ۶). استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی، نمودار سه بعدی و بای پلات در سال اول و دوم نشان می‌دهد که لاین‌های ۴، ۱۶ و ۲۰ بطور مشترک در هر دو سال به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر تحمل به خشکی انتخاب شدند، بنابراین این نتایج نشان

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

می‌دهد که این لاین‌ها از تکرارپذیری مناسبی برای تحمل به خشکی برخوردار بودند. از طرفی آماره‌های پایداری نیز دلالت بر پایداری عملکرد این لاین‌ها داشت، پس با توجه به پایداری عملکرد دانه، تحمل به خشکی و پتانسیل بالای عملکرد، این سه لاین به‌عنوان لاین‌های برتر و سازگار برای شرایط نرمال و تحت تنش خشکی آخر فصل در اقلیم معتدل کشور بعد از آزمایشات تکمیلی می‌تواند برای کمک به تولید در این مناطق مد نظر قرار گیرد.



شکل ۶- بای‌پلات ۲۰ ژنوتیپ جو در هشت شاخص تحمل به خشکی و عملکرد تحت تنش و بدون تنش خشکی بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی در سال دوم (۱۳۹۶-۱۳۹۷)

Figure 6. Biplot of 20 barley genotypes in eight indices of drought tolerance and yield under drought stress and drought stress based on the first and second main components in first year (2017-2018)

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

جدول ۷- شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شده و رتبه، میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه مربوط به هر شاخص در ژنوتیپ‌های جو در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶(سال دوم)

Table 7. Drought tolerant indices and Rank, average of rank and standard deviation of rank for each indices for barley genotypes in 2017-2018(second year)

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	افت عملکرد(٪)	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	AR	SDR
۱	۴/۶۱۳(۱۳)	۴/۴۱۹(۴)	۰/۱۹۴(۲)	۴/۲(۲)	۴/۵۱۶(۸)	۴/۵۱۵(۷)	۴/۵۱۴(۷)	۰/۲۴۰(۲)	۰/۸۷۴(۷)	۱/۱۱۰(۴)	۰/۹۵۸(۲)	۱/۱۶۲(۲)	۵/۲۷۳	۳/۴۹۵
۲	۴/۷۷۰(۱۰)	۳/۷۶۳(۱۴)	۱/۰۰۷(۱۳)	۲۱/۱(۱۴)	۴/۲۶۷(۱۲)	۴/۲۳۷(۱۲)	۴/۲۰۷(۱۳)	۱/۲۰۳(۱۴)	۰/۷۷۰(۱۲)	۰/۹۴۵(۱۴)	۰/۷۸۹(۱۴)	۰/۹۵۷(۱۴)	۱۲/۹۱	۱/۳۰۰
۳	۵/۱۳۸(۵)	۴/۴۶۶(۳)	۰/۶۷۲(۶)	۱۳/۱(۵)	۴/۸۰۳(۳)	۴/۷۹۰(۳)	۴/۷۷۸(۳)	۰/۷۴۵(۵)	۰/۹۸۴(۳)	۱/۱۲۲(۳)	۰/۸۶۹(۵)	۱/۰۵۴(۵)	۴/۰۰	۱/۱۸۳
۴	۵/۲۸۷(۳)	۴/۲۱۷(۷)	۱/۱۷۰(۱۶)	۲۱/۷(۱۶)	۴/۸۰۲(۴)	۴/۷۶۶(۴)	۴/۷۳۱(۴)	۱/۲۳۸(۱۶)	۰/۹۷۴(۴)	۱/۰۵۹(۷)	۰/۷۸۳(۱۶)	۰/۹۴۹(۱۶)	۸/۷۲۷	۵/۹۱۸
۵	۵/۱۲۴(۶)	۴/۳۲۳(۶)	۰/۸۰۱(۹)	۱۵/۶(۸)	۴/۷۲۴(۵)	۴/۷۰۶(۵)	۴/۶۹۰(۵)	۰/۸۹۱(۸)	۰/۹۵۰(۵)	۱/۰۸۶(۶)	۰/۸۴۴(۸)	۱/۰۲۳(۸)	۶/۴۵۵	۱/۵۰۸
۶	۴/۶۴۹(۱۲)	۳/۳۸۳(۱۹)	۱/۲۶۶(۱۹)	۲۷/۲(۱۹)	۴/۰۱۶(۱۷)	۳/۹۶۶(۱۷)	۳/۹۱۶(۱۷)	۱/۵۵۲(۱۹)	۰/۶۷۵(۱۷)	۰/۸۵۰(۱۹)	۰/۷۲۸(۱۹)	۰/۸۸۳(۱۹)	۱۷/۶۴	۲/۱۱۱
۷	۵/۴۵۸(۲)	۴/۹۵۸(۱)	۰/۵۰۰(۳)	۹/۲(۳)	۵/۲۰۸(۱)	۵/۲۰۲(۱)	۵/۱۹۶(۱)	۰/۵۲۲(۳)	۱/۱۶۱(۱)	۱/۲۴۵(۱)	۰/۹۰۸(۳)	۱/۱۰۲(۳)	۱/۸۲	۰/۹۸۲
۸	۴/۱۸۳(۲۰)	۳/۵۸۴(۱۶)	۰/۵۹۹(۵)	۱۴/۳(۶)	۳/۸۸۴(۱۹)	۳/۸۷۲(۱۹)	۳/۸۶۰(۱۸)	۰/۸۱۶(۶)	۰/۶۴۳(۱۹)	۰/۹۰۰(۱۶)	۰/۸۵۷(۶)	۱/۰۳۹(۶)	۱۳/۶۴	۶/۳۷۶
۹	۴/۸۱۶(۹)	۳/۸۹۸(۱۲)	۰/۹۱۸(۱۱)	۱۹/۱(۱۲)	۴/۳۵۷(۱۱)	۴/۳۳۳(۱۱)	۴/۳۰۹(۱۱)	۱/۰۸۶(۱۲)	۰/۸۰۵(۱۱)	۰/۹۷۹(۱۲)	۰/۸۰۹(۱۲)	۰/۹۸۲(۱۲)	۱۱/۲۷	۰/۹۰۵
۱۰	۴/۴۸۵(۱۶)	۳/۹۰۷(۱۱)	۰/۵۷۸(۴)	۱۲/۹(۴)	۴/۱۹۶(۱۴)	۴/۱۸۶(۱۴)	۴/۱۷۶(۱۴)	۰/۷۳۴(۴)	۰/۷۵۲(۱۴)	۰/۹۸۱(۱۱)	۰/۸۷۱(۴)	۱/۰۵۷(۴)	۱۰/۰۰	۴/۹۶۰
۱۱	۴/۸۶۶(۸)	۳/۹۶۵(۱۰)	۰/۹۰۱(۱۰)	۱۸/۵(۱۰)	۴/۴۱۶(۹)	۴/۳۹۲(۹)	۴/۳۷۰(۱۰)	۱/۰۵۵(۱۰)	۰/۸۲۸(۹)	۰/۹۹۶(۱۰)	۰/۸۱۵(۱۰)	۰/۹۸۸(۱۰)	۹/۵۴۵	۰/۶۸۸
۱۲	۴/۶۲۶(۱۹)	۳/۵۲۹(۱۷)	۰/۷۳۱(۸)	۱۷/۲(۹)	۳/۸۹۵(۱۸)	۳/۸۷۷(۱۸)	۳/۸۶۰(۱۹)	۰/۹۷۸(۹)	۰/۶۴۵(۱۸)	۰/۸۸۶(۱۷)	۰/۸۲۸(۹)	۱/۰۰۵(۹)	۱۴/۶۴	۴/۷۱۷
۱۳	۵/۰۳۳(۷)	۴/۰۰۵(۹)	۱/۰۲۸(۱۴)	۲۰/۴(۱۳)	۴/۵۱۹(۷)	۴/۴۹۰(۸)	۴/۴۶۱(۸)	۱/۱۶۴(۱۳)	۰/۸۶۵(۸)	۱/۰۰۶(۹)	۰/۷۹۶(۱۳)	۰/۹۶۵(۱۳)	۹/۹۱	۲/۷۳۷
۱۴	۴/۷۴۸(۱۷)	۳/۲۴۹(۲۰)	۱/۲۲۹(۱۸)	۲۷/۴(۲۰)	۳/۸۶۴(۲۰)	۳/۸۱۴(۲۰)	۳/۷۶۶(۲۰)	۱/۵۶۴(۲۰)	۰/۶۲۴(۲۰)	۰/۸۱۶(۲۰)	۰/۷۲۶(۲۰)	۰/۸۸۰(۲۰)	۱۹/۵۵	۱/۰۳۶
۱۵	۴/۵۹۲(۱۴)	۳/۶۱۸(۱۵)	۰/۹۷۴(۱۲)	۲۱/۲(۱۵)	۴/۱۰۵(۱۵)	۴/۰۷۶(۱۵)	۴/۰۴۷(۱۵)	۱/۲۰۹(۱۵)	۰/۷۱۳(۱۵)	۰/۹۰۹(۱۵)	۰/۷۸۸(۱۵)	۰/۹۵۶(۱۵)	۱۴/۶۴	۰/۹۲۴
۱۶	۵/۶۸۹(۱)	۴/۶۱۶(۲)	۱/۰۷۳(۱۵)	۱۸/۹(۱۱)	۵/۱۵۳(۲)	۵/۱۲۴(۲)	۵/۰۹۷(۲)	۱/۰۷۵(۱۱)	۱/۱۲۶(۲)	۱/۱۵۹(۲)	۰/۸۱۱(۱۱)	۰/۹۸۴(۱۱)	۵/۵۴۵	۵/۲۴۱
۱۷	۴/۴۴۷(۱۸)	۴/۳۲۵(۵)	۰/۱۲۲(۱)	۲/۷(۱)	۴/۳۸۶(۱۰)	۴/۳۸۶(۱۰)	۴/۳۸۵(۹)	۰/۱۵۶(۱)	۰/۸۲۵(۱۰)	۱/۰۸۶(۵)	۰/۹۷۳(۱)	۱/۱۸۰(۱)	۶/۴۵۵	۵/۴۸۴
۱۸	۴/۵۸۵(۱۵)	۳/۸۹۳(۱۳)	۰/۶۹۲(۷)	۱۵/۱(۷)	۴/۲۳۹(۱۳)	۴/۲۲۵(۱۳)	۴/۲۱۱(۱۲)	۰/۸۶۰(۷)	۰/۷۶۶(۱۳)	۰/۹۷۸(۱۳)	۰/۸۴۹(۷)	۱/۰۳۰(۷)	۱۰/۹۱	۳/۱۷۷
۱۹	۴/۶۷۳(۱۱)	۳/۴۰۳(۱۸)	۱/۲۷۰(۲۰)	۲۷/۲(۱۸)	۴/۰۳۸(۱۶)	۳/۹۸۸(۱۶)	۳/۹۳۸(۱۶)	۱/۵۴۹(۱۸)	۰/۶۸۲(۱۶)	۰/۸۵۵(۱۸)	۰/۷۲۸(۱۸)	۰/۸۸۳(۱۸)	۱۶/۸۲	۲/۳۱۶
۲۰	۵/۳۲۳(۴)	۴/۱۰۰(۸)	۱/۲۲۳(۱۷)	۲۳/۰(۱۷)	۴/۷۱۲(۶)	۴/۶۷۲(۶)	۴/۶۳۲(۶)	۱/۳۰۹(۱۷)	۰/۹۳۶(۶)	۱/۰۳۰(۸)	۰/۷۷۰(۱۷)	۰/۹۳۴(۱۷)	۱۰/۱۸	۵/۵۱۰
LSD%5	۱/۳۱۲	۱/۱۰۹												

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

منابع

1. Abou-Elwafa, S.F. 2016. Association mapping for yield and yield-contributing traits in barley under drought conditions with genome-based SSR markers. Comptes Rendus Biologies, 339(5): 153-162.
2. Abay, F. and C. Cahalan. 1995. Evaluation of response of some barley landraces in drought prone sites of Tigray (Nothern Ethiopa). Crop Improvement, 22(2): 125-132.
3. Ahakpaz, F., I. Bernousi, B. Abdollahi, S. Golkari, J. Jafarzadeh and S. Udupa. 2020. Evaluation of barley genotypes based on morpho-physiological traits and drought tolerance indices under rainfed and supplementary irrigation conditions. Iranian Journal of Dry Land Agriculture, 8(2): 153-176 (In Persian).
4. Ahmed, I.M., U.A. Nadira, G. Zang and F. Wu. 2016. Exploration and utilization of drought-tolerant barley germplasm. Pp.115-152. In: Zang, G. and C. Li, Exploration, identification and utilization of barley germplasm. Zhejiang University Press Co., Ltd. Published by Elsevier Inc.
5. Ahmadi, K., H.R. Ebadzadeh, F. Hatami, Sh. Mohammadnia, E. Esfandiari-pour and R.A. Taghani. 2021. Agricultural Statistics of 2019-2020 cropping season. Volume1. Ministry of Agriculture-Jahade, 97 pp (In Persian).
6. Barati, A., H. Zali, I. Lakzadeh, Sh. A. Koohkan, J. Jafarby, M. Jabari, A. Hosseinpour, A. Marzoghiyan, A. Gholipour, O. Poodineh and M. Kheirgo. 2021. Path analysis of genotype×environment interaction and evaluation of grain yield stability of barley promising lines in warm zone. Journal of Crop Breeding, 13(38): 179-192 (In Persian).
7. Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. Advances in Agronomy, 44: 55-85.
8. Eberhart, S.A.T. and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6: 36-40.
9. Eslami, P., I. Bernousi, S. Aharizad and J. Jafarzadeh. 2021. Evaluation of drought stress tolerance in barley lines using tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 13(38): 71-83 (In Persian).
10. FAO. 2019. Statistical data. WWW.Fao. Org/Faostat.
11. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication, Tainan, Taiwan.
12. Finlay, K.W. and G.N. Wilkinson. 1963. Adaptation in a plant breeding programme. Australian Journal of Agricultural Research, 14: 742-754.
13. Fischer, R. and R. Maurer. 1987. Drought resistant in spring wheat cultivars. I: Grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 895-97.
14. Francis, T.R. and L.W. Kannenberg. 1978. Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes. Canadian Journal of Plant Science, 58: 1029-1034.
15. Gavuzzi, P., G. Delogu, G. Boggini, N. Di Fonzo and B. Borghi. 1993. Identification of bread wheat, durum wheat and barley cultivars adapted to dry areas of southern Italy. Euphytica, 68: 131-145.
16. Gaush, H.G. and R.W. Zobel.1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. Theoretical and Applied Genetics, 76: 1-10.
17. Golabadi, M., A. Arzani and S.M. Mirmohammadi Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregation population in durum wheat. African Journal of Agricultural Research, 1: 162-171.
18. Huhn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. Euphytica, 47: 189-1990.
19. Kang, M.S. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communication, 16: 113-115.
20. Lin, C.S. and M.R. Binns. 1988. A method of analyzing cultivar ×location ×year experiment: a new stability parameter. Theorical and Applied Genetics, 76: 425-430.
21. Mahdavi, A.M., B. Sorkhi Allahlou, S. Ahmadi and H. Zare Manesh. 2012. Evaluation of drought tolerance in barley genotypes using stress tolerance indices. Journal of Crop Production Research, 4(2): 121-133 (In Persian).
22. Mrizova, K., E. Holaskova, E. Jiskrova, I. Frebort and P. Galuszka. 2016. Transgenic barley: A prospective tool for biotechnology and agriculture. Biotechnology Advances, 32: 137-157.
23. Nassar, R. and M. Huhn. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics, 43: 45-53.
24. Nassir, S.H. 2001. Response of barley (*Hordeum Volgare* L.) at various stages to salt stress. Journal of Biological Science, 1(5): 326-329.
25. Nikkhah, H.R., M.R. Naghavi, V. Mohammadi and H. Soltanloo. 2014. Physiological and agronomic traits related to drought tolerance in barley recombinant inbred line population (Arigashar × Igri). Seed and Plant Improvement Journal, 4: 1-30 (In Persian).
26. Plaisted, R.L. 1960. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. American Potato Journal, 37:166-172.
27. Pour-Aboughadareh, A., M. Yousefian, H. Moradkhani, P. Poczai and K.H.M. Siddique. 2019. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. Applications in Plant Sciences, 7(1): e1211. doi:10.1002/aps3.1211.

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

28. Pour-Aboughadareh, A., M. Yousefian, H. Moradkhani, M. Moghaddam Vahed, P. Poczai, and K.H.M. Siddique. 2019. iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. Applications in Plant Sciences, 7(7): e11278. doi:10.1002/aps3.11278.
29. Ramzi, E., A. Asghari, O. Sofalian, A. Mehraban and A. Ebadi. 2020. Evaluation of grain yield stability and genotype – environment interaction of barley promising lines in warm and humid regions of the country. Journal of Crop Breeding, 12(36): 57-65 (In Persian).
30. Rosielle, A.A. and J. Hambling. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-946.
31. Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity, 29: 237-245.
32. Thennarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. PhD thesis, PJ School, IARI, New Delhi, India.
33. Vaezi, B., V. Bavei, M. Ghanavati and F. Ebrahimpour. 2013. Evaluation of barley lines for drought tolerance under field conditions. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 97: 10-20 (In Persian).

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]

Evaluation of Yield Stability and Drought Tolerance of Barley Genotypes in Temperate Regions of the Iran

Hamid Reza Nikkhah[1], Hamid Tajali[2], Seyed Ali Tabatabaie[3] and Manoochehr Taheri[4]

1- Assistant Professor Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)- Crop and Horticultural Science Research Department, Khorassan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran, (Corresponding author: nikkhah_hr@yahoo.com)
2- Researcher Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Crop and Horticultural Science Research Department, Khorassan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
3- Associate Professor Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)- Crop and Horticultural Science Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
4- Assistant Professor Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)- Crop and Horticultural Science Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Varamin, Iran
Received: 26 April 2022 Accepted: 17 May, 2022

Extended Abstract

Introduction: Drought stress is one of the results of climate change that has a negative impact on the growth and yield of crops. Breeding for drought tolerance and production stability are important goals of crop breeding programs in arid and semi-arid regions.

Materials and Methods: In order to evaluate the stability of grain yield and drought tolerance at barley genotypes in temperate climates of Iran, 20 cultivars and barley lines, in a randomized complete block design with three replications during the two cropping years 2016-2017 and 2017-97 in four stations including Karaj, Varamin, Birjand and Yazd were evaluated under two conditions, normal irrigation and drought stress at the end of the season (irrigation interruption in 50% of heading).

Results: Combined analysis of variance showed that the effects of genotype, year × location, location × genotype and genotype × year × location on grain yield was significant. In order to study the interactions of genotype × environment more precisely and to determine genotypes with stable and drought tolerant yield, different stability parameters and drought tolerance and susceptibility indices were calculated for each genotype. Calculation of stability parameters showed that lines 20, 4, 16 and 15 were recognized as genotypes with stable yield and suitable adaptation, respectively. In terms of drought tolerance indices in the first year, lines 4, 17, 16, 20 and 11 and in the second year, lines 7, 3, 16, 4, 20 and 5, the top genotypes were drought tolerant at the end of the season.

Conclusion: The use of drought tolerance and susceptibility indices, three-dimensional charts and biplot in the first and second years showed that lines 4, 16 and 20 were jointly selected as the best genotypes in terms of drought tolerance in both years, so this the results showed that these lines had good repeatability for drought tolerance. On the other hand, stability statistics also indicated the stability of yield of these lines. so due to grain yield stability, drought tolerance and high yield potential, three lines 4, 16 and 20 were superior and adaptable lines for normal and terminal drought stress conditions in the temperate climate of Iran that after supplementary tests can be considered to help production in these areas.

Keywords: Adapta, Genotype × environment interactions, Terminal drought stress, Tolerance and susceptibility, indices

[DOI: 10.52547/jcb.14.44.1]