دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در جو با استفاده از شاخص‌های کمی تحمل

علی اکبر اسدی[۱]، بهروز محمدی[۲]، حسین نظری[۳] و فرهاد آهک پز[۴]

۱- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران، (نویسنده مسوول: asadipm@gmail.com)
۲- کارشناس بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
۳- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
۴- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۲
صفحه: ۴۶ تا ۵۹

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان در شرایط دیم، آب می‌باشد و چون بخش اعظم اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، تعیین تحمل نسبی به خشکی در گیاهان زراعی از اهمیت ویژه برخوردار است. با ارزیابی ژنوتیپ‌هایی از هر گیاه که تحت شرایط کم‌آبی قادر به ارائه عملکرد نسبتاً قابل قبولی باشند، می‌توان با اطمینان بیشتری آن‌ها را در نواحی خشک و نیمه‌خشک کشت نمود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در جو، ۱۵ ژنوتیپ مختلف در دو شرایط نرمال آبیاری و دیم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در دو ایستگاه تحقیقاتی خیرآباد و خدابنده استان زنجان مطالعه شدند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه مرکب نشان داد که بین دو شرایط نرمال و دیم ازنظر صفت عملکرد دانه بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت و شرایط دیم باعث کاهش بیش از ۵۰ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال گردید. در شرایط آبیاری معمولی بیشترین عملکردها به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های G3، G10 و G11 و در شرایط دیم علی رغم معنی‌دار نشدن اختلافات بین ژنوتیپ‌ها بیشترین عملکرد به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های G3، G6 و G2 بود. بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه، ازنظر کلیه شاخص‌های کمّی مقاومت به خشکی (به‌جز شاخص YI و SNPI) و نیز عملکرد در شرایط دیم اختلاف بسیار معنی‌داری وجود داشت. تجزیه همبستگی شاخص‌ها با عملکرد در شرایط آبیاری معمولی و دیم، نشان داد که بین شاخص‌های MP، STI، GMP، $MSTI_2$، HM و RDY با عملکرد در شرایط آبیاری معمولی و دیم همبستگی معنی‌داری وجود داشت. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌ها، نشان داد که مؤلفه اول ۷۹/۹۵ و مؤلفه دوم ۱۴/۰۴۹ درصد از تغییرات کل را توجیه می‌کنند. نمودار بای‌پلات حاصل از مؤلفه‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G2، G3، G9، G10، G11، G12 و G13 در قسمت مثبت نمودار مؤلفه اوّل قرار داشته و این ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری خوبی به محیط‌های آبی بودند. از بین این ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های G2، G3 و G13 در قسمت مثبت نمودار مؤلفه دوم قرار گرفتند بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط آبی و دیم معرفی کرد. تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G2، G3، G9، G10 و G11 در یک گروه قرار گرفتند و می‌توان این ژنوتیپ‌ها را ازنظر شاخص‌های محاسبه‌شده، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در نظر گرفت.

نتیجه‌گیری: بین شاخص‌های MP، STI، GMP، $MSTI_2$، HM و RDY محاسبه‌شده با عملکرد در شرایط آبیاری معمولی و دیم همبستگی معنی‌داری وجود داشت؛ بنابراین می‌توان از این شاخص‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش استفاده کرد. گروه‌بندی ژنوتیپ‌های جو بر اساس شاخص‌های کمی محاسبه‌شده نشان داد، ژنوتیپ‌های G2، G3 و G13 به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در شرایط آبیاری کامل و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های جو نسبت به تنش کم‌آبی شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، گروه‌بندی

مقدمه

جو یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که از لحاظ سطح زیر کشت و تولید، چهارمین غله مهم در دنیا می‌باشد. سطح زیر کشت جو در دنیا در سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۵۱/۵ میلیون هکتار و عملکرد آن بالغ بر ۱۵۷/۵ میلیون تن و در ایران تا سال ۲۰۲۰ برابر ۲/۰۶ میلیون هکتار و تولید آن ۳/۶ میلیون تن گزارش شده است (۱۴). حدود دوسوم از کل جو در دنیا برای تغذیه دام، مابقی آن در صنعت به کار می‌رود همچنین در ایران جو ازنظر تولید و مصرف بعد از گندم، دومین غله می‌باشد (۳۵).

روش‌های متعددی جهت بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها به محیط در دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی ارائه شده‌اند. مقایسه عملکرد در شرایط محیطی متضاد (تنش و بدون تنش) و گزینش ژنوتیپ‌هایی که به هر دو محیط سازگارند، هدف اصلی این‌گونه آزمایش‌ها است (۱۲). ارزیابی مواد پیشرفته اصلاحی در چنین شرایطی این امکان را فراهم می‌آورد که علاوه بر شناسایی لاین‌ها و ارقام دارای پایداری عملکرد در هر دو شرایط، ژنوتیپ‌هایی شناسایی شوند که مناسب شرایط متفاوت رطوبتی باشند. گزینش تحت شرایط مطلوب، گزینش تحت شرایط تنش کامل و گزینش توأم تحت هر دو شرایط سه استراتژی عمده‌ای هستند که برای انتخاب ارقام متحمل به تنش پیشنهاد شده‌اند (۷). در اغلب آزمایش‌ها برای گزینش مزرعه‌ای گیاهان زراعی فقط عملکرد دانه مدنظر قرار می‌گیرد، درصورتی‌که برخی از پژوهشگران معتقد هستند برای بازدهی بیشتر در اصلاح ارقام سازگار و برتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید شاخص‌هایی را که در شناسایی پایداری ارقام در شرایط تنش خشکی مؤثر هستند شناسایی کرده و آن‌ها را علاوه بر عملکرد دانه به‌عنوان معیارهای انتخاب مورد استفاده قرار داد. ازاین‌رو وضعیت عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و شرایط آبی به‌عنوان یک نقطه شروع برای شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌ها برای اصلاح در محیط‌های خشک است (۴۱). با توجه به اینکه حفظ پتانسیل عملکرد دانه در شرایط تنش را می‌توان به‌عنوان یک معیار فیزیولوژیک تحمل به تنش خشکی در نظر گرفت (۲)؛ لذا به نظر می‌رسد

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

که ارقام با درصد بالای کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به‌عنوان ارقام حساس به تنش مطرح شوند (۱۱).
دولت‌پناه و همکاران (۹) ۱۲ ژنوتیپ جو را در دو شرایط تنش آبیاری تکمیلی ارزیابی کردند. نتایج حاصل نشان داد که در شرایط تنش، بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار ازنظر عملکرد دانه وجود نداشت، ولی تحت شرایط آبیاری، اختلاف ژنوتیپ‌ها ازنظر عملکرد دانه بسیار معنی‌دار بود. نتیجه تجزیه مرکب در دو شرایط کشت نشان داد که اثر محیط در مورد صفات وزن هزاردانه، وزن دانه در سنبله و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی بین محیط‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت. اثر متقابل بین کلیه صفات به‌غیراز صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی معنی‌دار بود. صابری و همکاران (۳۸) در مطالعه‌ای بر اساس همبستگی صفات در شرایط نرمال و تنش خشکی در جو نشان دادند که خصوصیاتی از قبیل شاخص برداشت، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول ریشک و وزن هزاردانه را می‌توان به‌عنوان شاخص‌هایی برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا در شرایط تنش و عدم تنش استفاده نمود. محمدی و همکاران (۳۱) با مطالعه تحمل ارقام مختلف جو نسبت به تنش کمبود آب بیان نمودند که تنوع ژنتیکی بالایی بین ارقام مختلف جو در شرایط آبیاری کامل و تنش وجود داشت. این محققین بیان نمودند که میانگین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ارقام متحمل جو در شرایط تنش به‌طور معنی‌داری بالاتر از شرایط آبیاری کامل بود. همچنین بین عملکرد در شرایط تنش و آبیاری کامل همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. لذا ارقامی که در شرایط آبیاری کامل عملکرد خوبی داشتند در شرایط تنش از افت عملکرد کمتری برخوردار بودند، این محققین نتیجه گرفتند که انتخاب ارقامی که تحمل بیشتری برای کشت در شرایط تنش دارند بهترین روش برای فائق آمدن بر تنش کمبود آب می‌باشد. المونایری و همکاران (۱۳) در بررسی خود مشاهده نمودند که اعمال تنش خشکی، عملکرد دانه گندم و جو را مستقل از زمان وقوع تنش کاهش می‌دهد، ولی اثر آن در جو کمتر از گندم است و با افزایش شدت تنش خشکی تعداد دانه در سنبله، وزن دانه و عملکرد دانه جو کاهش می‌یابد. اقبالی و همکاران (۱۰) با ارزیابی ۵۴ لاین هاپلوئید مضاعف شده جو با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش کم‌آبی گزارش نمودند بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه، تنوع ژنتیکی بالایی وجود دارد. این محققین گزارش نمودند که شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص حساسیت به تنش بهترین شاخص‌ها، برای گزینش و تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی می‌باشند. مهدوی و همکاران (۲۹) با ارزیابی تحمل به خشکی در ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته جو با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش، گزارش نمودند که بیشترین میانگین عملکرد در شرایط آبیاری کامل به ژنوتیپ ۷ و در شرایط تنش به ژنوتیپ ۱۴ تعلق داشت. از طرفی بیشترین میانگین هارمونیک، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین بهره‌وری و شاخص تحمل مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۱۴ بودند. همچنین، چهار شاخص میانگین بهره‌وری، میانگین هارمونیک، میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص حساسیت به تنش به دلیل همبستگی بالا با عملکرد دانه، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط آزمایش بودند. کرمی و همکاران (۲۵) با ارزیابی مقاومت به خشکی ۲۶ ژنوتیپ جو تحت شرایط فاریاب و دیم با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی، از قبیل میانگین بهره‌وری، شاخص تحمل، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص حساسیت به تنش و شاخص تحمل به تنش نشان دادند که اختلاف بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها ازنظر کلیه شاخص‌ها و عملکردها در شرایط آبی و دیم وجود داشت که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌ها بود و انتخاب برای تحمل به خشکی و دو رگ گیری برای مطالعات ژنتیکی و برنامه‌های اصلاحی را امکان‌پذیر می‌ساخت. تحلیل همبستگی بین عملکرد دانه در تک بوته در شرایط آبی و دیم و شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص حساسیت به تنش مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن ژنوتیپ‌های جو می‌باشند.
بررسی تحمل واریته‌های زراعی به تنش خشکی از دیدگاه به‌نژادی همواره مورد توجه بوده است. با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور و محدودیت آب، تهیه ارقام و لاین‌هایی که در شرایط تنش آبی بتوانند عملکرد قابل‌قبول و پایداری داشته باشند ضرورت دارد. اصولاً مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان در شرایط دیم آب می‌باشد و از آنجا که بخش اعظم اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، تعیین تحمل نسبی به خشکی در گیاهان زراعی از اهمیت ویژه برخوردار است. با ارزیابی ژنوتیپ‌هایی از هر گیاه که تحت شرایط کم‌آبی قادر به ارائه عملکرد نسبتاً قابل قبولی باشند، می‌توان با اطمینان بیشتری آن‌ها را در نواحی خشک و نیمه‌خشک کشت نمود. در این راستا هدف از اجرای این پژوهش شناسایی بهترین شاخص‌ها برای بررسی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های جو و همچنین غربال ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط دیم در استان زنجان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با استفاده از لاین‌های پیشرفته منتخب جو (۱۲ لاین انتخابی) به همراه سه رقم شاهد انصار، آبیدر و سرارود (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در دو ایستگاه تحقیقاتی خیرآباد و دیم خدابنده استان زنجان اجرا شد. ایستگاه دیم خدابنده در طول ۴۸ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۹ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۸۷۵ متر از سطح دریا قرار دارد. ایستگاه خیرآباد در طول ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۷۷۰ متر از سطح دریا قرار دارد. کرت‌های آزمایشی شامل شش خط به طول شش متر با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. میزان بذر مصرفی برای کشت بر اساس ۳۵۰ دانه در مترمربع با توجه به وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها تعیین شد. پس از شخم و آماده‌سازی زمین با مساعد شدن شرایط اقلیمی منطقه، کشت در اواخر مهرماه سال زراعی در هر دو ایستگاه صورت گرفت. در طول فصل رشد مراقبت‌های معمول زراعی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

نظیر مبارزه با علف‌های هرز و آفات به‌طور یکسان برای تمام کرت‌ها انجام شد. جهت کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ از سموم علف‌کش استفاده شد. در ایستگاه خیرآباد آزمایش به صورت نرمال آبیاری گردید به صورتی که تعداد دفعات آبیاری برحسب نیاز گیاه و در طول دوره زراعی پنج نوبت بود. ولی در شرایط دیم هیچ‌گونه آبیاری صورت نگرفت. در زمان رسیدن و پس از برداشت محصول کرت‌ها، عملکرد دانه مربوط به هر کرت اندازه‌گیری شده و عملکرد دانه تیمارها در ایستگاه‌ها مورد تجزیه مرکب و مقایسه میانگین قرار گرفت.

جدول ۱- نام و شجره ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Table 1. Name and pedigree of the studied genotypes

کد Code	شجره Pedigree
G1	Ansar
G2	Abidar
G3	Sararood1
G4	Crossing Block - Karaj (93-94)-328
G5	Crossing Block - Karaj (93-94)-361
G6	Crossing Block - Karaj (93-94)-392
G7	Crossing Block - Karaj (93-94)-396
G8	Dayton/Ranney//Sadik-02/Sararood-1 IRB-009-08-0MH-0MH-0MH-0MH
G9	Aday1/4/Tokak/3/Lignee131/ArabiAbiad//Alpha/Durra/5/Sadik-02/Sararood-1 IRB-009-23-0MH-0MH-0MH-0MH
G10	Tokak*2/3/CWB117-5-9-5//CWB117-77-9-7/ICB-104073/4/Zarjau/80-5151//DZ-40-66/3/Meteor IRB-009-28-0MH-0MH-0MH-0MH-4MH
G11	Zarjau/80-5151//DZ-40-66/3/Meteor/4/YESEVI93/TIRCHMIR-43 IRB-009-32-0MH-0MH-0MH-0MH-2MH
G12	CWB117-77-9-7//Roho/Masurka/3/K-88 M1/4/EC84-10 IRB-009-44-0MH-0MH-0MH-0MH-3MH
G13	Radical/3/ICB103351/Arta//GkOmega/TokakICB09-1379-0AP-0AP-0MH-0MH-2MH
G14	CWB117-5-9-5/3/Igri/MOB2639//P13161/Igri/4/Alpha/Cum//CWB117-77-9-7ICB09-1522-0AP-0AP-0MH-0MH-4MH
G15	Wieselburger/Ahor 1303-61//Ste/Antares/3/Roho/MasurkaICB09-1906-0AP-0AP-0MH-0MH-3MH

برای تعیین میزان تحمل یا حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی به ترتیب از شاخص حساسیت به تنش (SSI) (۱۹)، شاخص تحمل به تنش (STI) (۱۸)، میانگین بهره‌وری (MP) (۳۷)، شاخص میانگین هارمونیک (HM) (۱۹)، شاخص میانگین هندسی (GMP) (۱۸)، شاخص تحمل به خشکی (DI) (۲۸)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) (۶)، شاخص خشکی نسبی (RDI) (۱۹)، شاخص کاهش نسبی عملکرد (RDY) (۲۳)، شاخص کاهش نسبی (RR) (۸)، شاخص عملکرد (YI) (۲۰)، شاخص بهره‌وری تنش و غیر تنش (SNPI)، شاخص تحمل غیر زیستی (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)(۳۲) ، شاخص های تحمل به تنش تغییر شکل یافته ($MSTI_1$) و ($MSTI_2$) (۱۵) و شاخص تحمل (TOL) (۳۷) استفاده گردید. فرمول هر شاخص به‌قرار زیر است:

1	Susceptible stress index	$SSI = (1–Ys_i/Yp_i)/SI$, $SI =1–(Ys/Yp)$
2	Stress tolerance index	$STI = (Yp_i)\ (Ys_i)/(Yp)^2$
3	Mean productivity	$MP = (Ys_i+Yp_i)/2$
4	Harmonic mean	$HM=\sqrt{((2\times Yp_i\times Ys_i)/(Yp_i+Ys_i))}$
5	Geometrical mean productivity	$GMP = \sqrt{(Ys_i\times Yp_i)}$
6	Drought Index	$DI = (Ys_i(Ys_i/Yp_i))/Ys$
7	Yield stability index	$YSI = Ys_i/Yp_i$
8	Relative Drought index	$RDI = (Ys_i/Yp_i)/ (Ys/Y\ p)$
9	Relative Decrease in Yield	$RDY=100-(Ys_i/100 \times Yp_i)$
10	Relative Reduction	$RR=((Yp_i-Ys_i)/ Yp_i)\times100$
11	Yield index	$YI = Ys_i/Ys$
12	Stress and non-stress production index	$SNPI = [(\sqrt{Yp_i}+\sqrt{Ys_i})/(\sqrt{Yp_i}-\sqrt{Ys_i})]^{0.333} \times [\sqrt{Yp_i}\times\sqrt{Ys_i}\times\sqrt{Ys_i}]^{0.333}$
13	Abiotic tolerance index	$ATI =[(Yp_i/Ys_i)/ (Yp/Ys)] \times(\sqrt{Yp_i}\times\sqrt{Ys_i})$
14	Stress susceptibility percentage index	$SSPI = ((Yp_i-Ys_i)/(2\times Yp))\times100$
15	Modified Stress tolerance index 1	$MSTI1= K_1\times STI$, $K_1=Y^2pi/Y^2p$
16	Modified Stress tolerance index 2	$MSTI2= K_2\times STI$, $K_2=Y^2si/Y^2s$
17	Tolerance	$TOL=Yp -Ys$

SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، MP: میانگین بهره‌وری، HM، میانگین هارمونیک،GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، DI: شاخص تحمل به خشکی ، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RDI: شاخص خشکی نسبی، RDY: شاخص کاهش نسبی عملکرد، RR: کاهش نسبی، YI: شاخص عملکرد، SNPI: شاخص بهره‌وری در شرایط تنش و بدون تنش، ATI: شاخص تحمل غیر زیستی، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، MSTI1 و MSTI2: شاخص تحمل به تنش تغییریافته، TOL: شاخص تحمل، Ys_i= ارزش میانگین ژنوتیپ i ام در شرایط تنش، Yp_i= ارزش میانگین ژنوتیپ i ام در شرایط مطلوب، Ys= میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تحت تنش، Yp= میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط مطلوب

SSI: Stress sensitivity index, RSI: Relative saline index, TOL: Tolerance index, MP: Mean productivity index, GMP: Geometric mean productivity index, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, YSI: Yield stability index, SI: Saline resistance index, ATI: Abiotic tolerance index, SSPI: Stress sensitivity percentage index, SNPI: Non-stress and stress environmental product index. Yp: Yield in normal condition, Ys; Yield in saline stress condition

به‌منظور بررسی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها، شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش برای ژنوتیپ‌های تحت بررسی تعیین شده و تجزیه واریانس و مقایسات میانگین براساس این شاخص ها انجام شد. برای تعیین شاخص‌هایی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

که همبستگی بالایی با هم دارند، همبستگی بین شاخص‌ها محاسبه گردید. ژنوتیپ‌ها بر اساس حساسیت و تحمل به خشکی توسط هر یک از این شاخص‌ها گروه‌بندی شدند. از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور خلاصه نمودن داده‌ها و ترسیم نمودار بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اول و شناخت شاخص‌های مطلوب استفاده شد. در نهایت تجزیه خوشه‌ای به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس معیارهای تحمل به خشکی انجام گرفت. برای انجام تجزیه‌های آماری شامل تجزیه واریانس، مقایسات میانگین و محاسبه همبستگی شاخص‌ها از نرم‌افزار SAS, 9.1 و برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای از نرم‌افزار SPSS, 22 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به عملکرد در دو مکان (جدول ۲) نشان داد که مکان (شرایط آبیاری) بر میانگین عملکرد دانه در واحد کرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. میانگین عملکرد دانه در واحد کرت برای تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری و دیم به‌ترتیب ۱/۳۰۶ و ۰/۵۶۵ کیلوگرم بود. شرایط تنش باعث کاهش بیش از ۵۰ درصدی از عملکرد دانه در مقایسه با شرایط آبیاری گردید. البته این کاهش شدید به دلیل شرایط خشکسالی شدید سال زراعی قابل‌انتظار بود. بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه اختلاف مشاهده شده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل ژنوتیپ در شرایط محیطی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. البته نوع اثر متقابل از نوع تغییر در مقدار بود که نشان می‌دهد پاسخ ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط یکسان نیست ولی در شرایط دیم، تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش عملکرد نشان می‌دهند. اصغری و همکاران (۴) در گندم دوروم و کامرانی و همکاران (۲۴) در گندم نان تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم نشان دادند که آبیاری تکمیلی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد می‌شود.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد ژنوتیپ‌های جو در شرایط (مکان) دیم و آبیاری
Table 2. Combined analysis of variance barley genoteps for grain yield in rainfed and irrigation conditions

S.O.V. منابع تغییر	Degree of Freedom درجه آزادی	Means of Square میانگین عملکرد
مکان (Place)	1	16.46**
بلوک (مکان) ((Block(Place)	6	0.588
ژنوتیپ (Genotype)	14	0.172**
ژنوتیپ در مکان (Genotype*Place)	14	0.153**
خطا (Error)	84	0.047
ضریب تغییرات (CV%)	23.3	

** و *: معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد به‌ترتیب

**, *: Significant in 0.01% and 0.05% respectively

بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ازنظر کلیه شاخص‌های کمّی تحمل به خشکی (بجز شاخص YI و SNPI) و نیز عملکرد در شرایط تنش اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳) که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی و امکان انتخاب برای مقاومت به خشکی است. به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی، میانگین هرکدام از شاخص‌های تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی محاسبه شدند (جدول ۴). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که به‌طور متوسط شرایط تنش باعث کاهش بیش از ۵۰ درصدی عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی نسبت به شرایط بدون تنش می‌شود. در شرایط آبیاری معمولی بیشترین عملکردها به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های G3، G10 و G11 با عملکردهای ۲/۰۵، ۱/۵۵ و ۱/۵۳۷ کیلوگرم در واحد کرت بود. از طرف دیگر در شرایط دیم علیرغم معنی‌دار نشدن اختلافات بین ژنوتیپ‌ها بیشترین عملکردها به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های G3، G6 و G2 با عملکردهای ۰/۵۹۸، ۰/۵۹۳ و ۰/۵۹ کیلوگرم در واحد کرت بود (جدول ۵).

عمل انتخاب برای تحمل به تنش در برنامه‌های به‌نژادی به دلیل عدم وجود سازوکارها و روش‌های آزمایشگاهی مناسب، محدود است. فقدان ژنوتیپ‌هایی که بتوانند در مراحل مختلف رشد به تنش محیطی واکنش نشان دهند نیز مزید بر علت است. احتمال اینکه ژن‌های مقاومت به تنش در یک گیاه جمع شده و توسط روش‌های فیزیولوژیک شناخته شود، بسیار کم است. برای انتخاب در شرایط تنش بر اساس عملکرد، شاخص‌های متفاوتی پیشنهاد شده است. این شاخص‌ها، عملکرد گیاه در دو محیط تنش و بدون تنش را دربر می‌گیرند. برای سنجش تنش باید عملکرد محصول در محیط تنش (Ys) را با عملکرد در محیط بدون تنش (پتانسیل عملکرد Yp) مقایسه کرد. میزان حساسیت ارقام به تنش را از مقایسه عملکرد هر رقم در محیط تنش (Ysi)با عملکرد در محیط بدون تنش (Ypi) در ارتباط با شدت تنش محیط آزمایش اندازه‌گیری می‌کنند. هرچه قدر Ysi به Ypi نزدیک‌تر باشد حساسیت رقم به تنش کمتر است و در نتیجه مقدار حساسیت آن رقم کوچک‌تر است. مقدار حساسیت کوچک‌تر نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش است. تحمل و یا حساسیت نسبی ارقام به تنش را می‌توان از مقایسه مقادیر حساسیت ارقام تعیین نمود. مقدار زیاد شاخص حساسیت به تنش SSI نشان‌دهنده حساسیت گیاه در مقابل خشکی می‌باشد. در استفاده از این شاخص باید دانست که شاخص حساسیت به تنش بر اساس نسبت عملکرد هر رقم در شرایط تنش به شرایط بدون تنش در مقایسه با این نسبت در کل ارقام سنجیده می‌شود، بنابراین دو رقم با عملکرد زیاد یا کم در دو محیط می‌توانند مقدار SSI یکسانی داشته باشند، لذا انتخاب بر اساس این شاخص، اصلاحگران را به‌اشتباه می‌اندازد. در کل مقادیر کم SSI حاکی از تغییرات کم عملکرد گیاه در شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال و درنتیجه مقاومت بیشتر گیاه است. براساس

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

این شاخص ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G14 و G8 متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های G3، G11، G10، G12 و G2 حساس‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی بودند. فیشر و مورر (۱۹) اظهار داشتند که در برخی شرایط، رابطه مثبت بین عملکرد در شرایط تنش و SSI مشاهده می‌شود و این حالت زمانی روی می‌دهد که برخی صفات در شرایط تنش مناسب بوده ولی در شرایط عدم تنش مناسب نیستند. روزیل و هامبلین (۳۷) اظهار داشتند که چون همبستگی ژنتیکی عملکرد در شرایط غیر تنش با تحمل به تنش در بسیاری از موارد منفی است، لذا انتخاب براساس اختلاف عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش معمولاً باعث کاهش عملکرد در شرایط غیر تنش و افزایش عملکرد در محیط‌های تنش می‌گردد. ایشان همچنین بیان نمودند که مقدار بالای شاخص تحمل TOL نشانه حساسیت ژنوتیپ به تنش است. بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌ها باید براساس مقادیر کم این شاخص باشد. شاخص مذکور نیز قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از C نیست. بر این اساس ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G14 و G8 متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های G3، G10، G11، G2 و G9 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند. فرناندز (۱۸) گزارش داد که انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس مقدار پایین شاخص تحمل TOL به نفع ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط غیر تنش و ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش است. لذا این شاخص، به‌تنهایی نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت انتخاب گروه A محسوب شود. همان‌طور که گفته شد انتخاب بر اساس شاخص SSI نیز باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که پتانسیل عملکرد پایینی داشته و از تحمل به تنش خوبی برخوردارند (۱۸). از طرف دیگر در محاسبه شاخص SSI یک جزء به نام SI وجود دارد که به آن سختی محیط یا شدت تنش می‌گویند و هر چه این جزء بزرگ‌تر باشد شاخص SSI کوچک‌تر می‌شود (۳۰). در شاخص SSI علاوه بر میزان عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، تغییر یا آسیب وارده به ژنوتیپ‌ها در اثر تنش نیز مدنظر قرار می‌گیرد. بدین معنی که اگر ژنوتیپی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالاتری باشد اما درصد تغییر زیادی نشان دهد به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی نمی‌شود. بنابراین این شاخص نیز نمی‌تواند ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند را تشخیص دهد. شاخص میانگین بهره‌وری MP نیز باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی در شرایط مطلوب ولی عملکرد کمی در شرایط تنش دارند، بطوریکه در بسیاری از موارد همبستگی‌های بین میانگین عملکرد و عملکرد در شرایط تنش مثبت خواهد بود. همان‌طور که گفته شد مقدار زیاد این شاخص نشان‌دهنده تحمل گیاه در مقابل خشکی می‌باشد. بر این اساس متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G3، G10، G2، G9 و G11 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G14 و G8 بودند. بنابراین انتخاب براساس MP میانگین تظاهر را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش افزایش می‌دهد (۱۸) ولی قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از B نیست. برای حل این مشکل فرناندز (۱۸) شاخص میانگین عملکرد هندسی GMP را پیشنهاد نمود. این شاخص حساسیت کمتری به مقادیر بالای عملکرد دارد درحالی‌که شاخص MP که براساس میانگین حسابی می‌باشد هنگامی‌که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش باشد دارای خطایی به‌طرف بالا خواهد بود. مقدار زیاد این شاخص نشان‌دهنده تحمل گیاه در مقابل تنش می‌باشد. بر این اساس ژنوتیپ‌های G3، G2، G11، G10 و G12 متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G14 و G8 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. مقادیر بالای عددی شاخص میانگین هارمونیک HM نیز نشان‌دهنده تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها است. براین اساس متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G3، G2، G11، G12 و G13 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G8 و G1 بودند. با گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در محیط بدون تنش و یا در تنش، میانگین عملکرد فقط در هرکدام از این شرایط افزایش می‌یابد، پس انتخاب ژنوتیپ‌هایی که به هر دو محیط سازگاری دارند هدف اصلی می‌باشد (۱۸). به عبارت بهتر شاخص انتخاب مناسب باید بتواند ژنوتیپ‌های برتر در هر دو محیط را از ژنوتیپ‌های برتر در یک محیط متمایز نماید (۲۶). فرناندز (۱۸) شاخص تحمل به تنش STI را بر اساس GMP بنا گذاشت، لذا همبستگی بین STI و GMP بسیار بالا (نزدیک به ۱) است و بر اساس شاخص STI، ژنوتیپ‌های پایدارتر دارای مقادیر بالاتری از این شاخص هستند. STI وGMP به لحاظ همبستگی رتبه در یک مرتبه قرار دارند و هرچه مقدار STI بزرگ‌تر باشد تحمل به تنش و پتانسیل عملکرد ژنوتیپ هم بالاتر می‌رود. بر این اساس ژنوتیپ‌های G3، G2، G11، G10 و G12 متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G14 و G8 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. چون شاخص STI حاصل‌ضرب دو کمیت ($Ys \times Yp$) است و به‌دلیل خاصیت ضرب اعداد ممکن است برای جفت‌هایی از اعداد که با یکدیگر تفاوت زیادی دارند، مربع میانگین هندسی یکسان باشد (۳۴)؛ بنابراین ممکن است ژنوتیپ‌های شناسایی‌شده ژنوتیپ‌های متحمل نباشند زیرا امکان دارد ژنوتیپی دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش ولی دارای عملکرد پایین در شرایط تنش باشد. بنابراین این شاخص زمانی قابل‌اعتماد است که ژنوتیپ دارای عملکرد بالا در شرایط تنش نیز باشد. فرشادفر و استوکا (۱۵) جهت بهبود کارایی شاخص تحمل به تنش STI شاخص تغییریافته تحمل تنش MSTI را پیشنهاد کردند، که در آن فرمول STI توسط وزنه‌ای اصلاح می‌گردد. مقادیر بالای شاخص تغییریافته تحمل تنش ۱ $MSTI_1$ نشان‌دهنده تحمل به تنش است. بر این اساس متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G3، G2، G10، G11 و G9 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G6، G7، G15، G14 و G8 بودند. مقادیر بالای شاخص تغییریافته تحمل تنش ۲ $MSTI_2$ نیز نشان‌دهنده تحمل به تنش است. بر این اساس متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G3، G2، G11، G12 و G10 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G6، G7، G8، G5 و G1 بودند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

شاخص مقاومت به خشکی DI ژنوتیپ‌هایی را شناسایی می‌کند که با شرایط تنش و شرایط بدون تنش سازگاری دارند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G3، G11، G10، G12 و G1 مقاوم و ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G14 و G8 حساس به تنش بودند.

شاخص‌های STI و DI قادر به تفکیک گروه A از گروه B و گروه C می‌باشند (۱۸). همچنین مقادیر بالای شاخص تحمل بیانگر تغییرات بیشتر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش است. شاخص پایداری عملکرد YSI توسط بوسلاما و چاپاق (۶) ارائه شد. انتظار می‌رود ژنوتیپ‌های با YSI بالا دارای عملکرد بالا تحت شرایط تنش و عملکرد پایین در شرایط بدون تنش باشند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از این شاخص نشان داد که متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G14 و G8 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G3، G11، G10، G12 و G2 بودند.

شاخص خشکی نسبی RDY اگر کوچک باشد ژنوتیپ‌ها تا حدودی متحمل و برعکس اگر بالا باشد ژنوتیپ‌ها حساس می‌باشند. بر این اساس متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G3، G11، G10، G12 و G2 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G14 و G8 می‌باشند. محاسبه شاخص کمترین کاهش نسبی (RR) نشان داد که ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G14 و G8 دارای کمترین و ژنوتیپ‌های G3، G11، G10، G12 و G2 دارای بیشترین مقدار کاهش نسبی بودند. از طرف دیگر محاسبه شاخص کاهش نسبی عملکرد RDY نشان داد که ژنوتیپ‌های G6، G7، G8، G4 و G14 دارای کمترین و ژنوتیپ‌های G3، G2، G11، G10 و G12 دارای بیشترین مقدار کاهش نسبی در عملکرد بودند.

شاخص تحمل غیر زیستی ATI به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش و دارای قابلیت تحمل به تنش معرفی شده است که می‌تواند گروه‌های B وC را از یکدیگر جداسازی کند. این شاخص شدت تنش و مقادیر عملکرد در دو محیط را در نظر می‌گیرد و می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A را از دیگر ژنوتیپ‌ها جدا کند و بنابراین شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است. شاخص تحمل به تنش به دلیل آنکه ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که عملکرد زیادی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند، معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی شده است. میزان بالای این شاخص برای ژنوتیپ‌ها نمایانگر تحمل به خشکی بیشتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ‌ها است (۱۸). بر این اساس متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G3، G2، G10، G11 و G9 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G6، G7، G14، G8 و G15 بودند.

شاخص‌های ذکرشده در بالا در مطالعات زیادی استفاده شده‌اند ولی بیشتر آن‌ها معایبی دارند، خصوصاً این‌که نمی‌توانند گروه‌های فرناندزی را به‌راحتی مجزا سازند (۳۲). در این راستا در تحقیقی موسوی و همکاران دو شاخص جدید با کارایی بهتر بنام شاخص درصد حساسیت به تنش SSPI که توانایی جداسازی ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل را از غیرمتحمل‌ها را بهتر از شاخص‌های قبلی دارد و همچنین شاخص میزان محصول محیط غیر تنش و تنش SNPI که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A است و تأکید بر عملکرد بالا و پایدار در دو محیط را دارد، معرفی کردند (۳۲). ازنظر SSPI، باوجود محاسبه اختلاف بین دو محیط نسبت به محیط بدون تنش، نتایجی همسان با شاخص تحمل غیر زیستی داشته و بیشتر برای غربالگری ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط به‌کاررفته و همراه با دیگر شاخص‌ها معتبرتر خواهد بود. از شاخص SNPI نیز در مشخص کردن رقم‌های متحمل و حساس از نسبت محیط تنش به بدون تنش بهره گرفته و ژنوتیپ‌های دارای تغییر کمتر در هر دو محیط، صرف‌نظر از کمیت هر محیط، رتبه برتری را خواهند داشت. البته بنا به اظهار محققان، شاخص‌های SSPI، SNPI و ATI برای غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش معرفی شده‌اند (۳۲). بر اساس شاخص درصد حساسیت به تنش SSPI متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G6، G3، G4، G14 و G2 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G15، G1، G11، G10 و G12 بودند. شاخص میزان محصول محیط غیر تنش و تنش SNPI ژنوتیپ‌ها را بر اساس داشتن دو خصوصیت به‌طور هم‌زمان، یعنی داشتن عملکرد بالا و قابل‌قبول نسبی در شرایط تنش و غیر تنش و همچنین پایداری عملکرد (با تأکید بیشتر بر عملکرد شرایط تنش نسبت به عملکرد شرایط غیر تنش) مجزا و بررسی می‌کند و همبستگی قوی و معنی‌دار این شاخص با عملکرد در شرایط تنش نشان‌دهنده اهمیت دادن این شاخص به مقدار عملکرد شرایط تنش در حین توجه به میزان عملکرد شرایط غیر تنش است (جلالی فر و همکاران، ۱۳۹۰). بر این اساس متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی ژنوتیپ‌های G3، G10، G11، G2 و G9 و حساس‌ترین آن‌ها ژنوتیپ‌های G6، G7، G4، G14 و G8 بودند.

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های جو
Table 3. Analysis of variance of drought tolerance indices in barley genotypes

YSI	YI	GMP	STI	MP	TOL	RDI	SSI	YS	YP	Degree of Freedom درجه آزادی	S.O.V. منابع تغییر
0.16**	0.08**	0.01**	0.11**	0.23**	0.99**	0.88**	0.47**	0.024**	0.93**	3	بلوک (Block)
0.038**	0.007	0.04**	0.044**	0.088**	0.315**	0.208**	0.115**	0.0023	0.33**	14	ژنوتیپ (Genotype)
0.011	0.011	0.013	0.014	0.025	0.081	0.066	0.036	0.0035	0.087	42	خطا (Error)
23.3	10.5	13.6	26.6	16.8	0.37	23.3	20.64	10.5	22.3		CV%

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

ادامه جدول ۳

Table 3 continued

S.O.V. منابع تغییر	Degree of Freedom درجه آزادی	DI	ATI	MSTI1	MSTI2	SSPI	SNPI	RR	HM	RDY
بلوک (Block)	3	0.229	0.256**	2.33**	0.204**	1411.9**	0.275**	1554.4**	0.044**	0.327**
ژنوتیپ (Genotype)	14	0.038*	0.085**	0.77**	0.076*	448.3**	0.027	378.3**	0.016*	0.128**
خطا (Error)	42	0.018	0.023	0.23	0.033	115.08	0.044	119.8	0.007	0.04
CV%		28.6	40.19	40.9	40.9	37.4	19.5	20.6	11.3	26.6

** و *: معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد به‌ترتیب

**, *: Significant in 0.01% and 0.05% respectively

Yp: عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال، Ys: عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تحت تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، RDI: شاخص خشکی نسبی، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، DI: شاخص تحمل به خشکی، ATI: شاخص تحمل غیر زیستی، MSTI1 و MSTI2: شاخص تحمل به تنش تغییریافته، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، SNPI: شاخص بهره‌وری در شرایط تنش و بدون تنش، RR: کاهش نسبی، HM: میانگین هارمونیک، RDY: شاخص کاهش نسبی عملکرد

SSI: Stress sensitivity index, RSI: Relative saline index, TOL: Tolerance index, MP: Mean productivity index, GMP: Geometric mean productivity index, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, YSI: Yield stability index, SI: Saline resistance index, ATI: Abiotic tolerance index, SSPI: Stress sensitivity percentage index, SNPI: Non-
stress and stress environmental product index. Yp: Yield in normal condition, Ys; Yield in saline stress condition

جدول ۴- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه جو ازنظر شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 4. Comparison of the mean of studied barley genotypes in terms of drought tolerance indices

YSI	YI	GMP	STI	MP	TOL	RDI	SSI	YS	YP	Genptype
0.437^{cdef}	0.942^{a}	0.838^{bcde}	0.424^{bcd}	0.953^{bcd}	0.841^{bc}	1.029^{cdef}	0.979^{abcd}	0.533^{a}	1.733^{bcd}	G1
0.42^{cdef}	1.044^{a}	0.937^{ab}	0.537^{b}	1.058^{b}	0.937^{b}	1.009^{cdef}	1.009^{abcd}	0.59^{a}	1.527^{bcd}	G2
0.298^{f}	1.102^{a}	1.102^{a}	0.721^{a}	1.324^{a}	1.453^{a}	0.7^{f}	1.223^{a}	0.598^{a}	2.05^{a}	G3
0.567^{abc}	0.936^{a}	0.751^{cde}	0.825^{bcd}	0.825^{cd}	0.595^{bcd}	1.33^{abc}	0.755^{def}	0.538^{a}	1.122^{cde}	G4
0.481^{bcde}	1.035^{a}	0.846^{bcde}	0.421^{bcd}	0.908^{bcd}	0.645^{bcd}	1.129^{bcde}	0.904^{bcde}	0.585^{a}	1.23^{bcde}	G5
0.681^{a}	1.047^{a}	0.729^{de}	0.313^{cd}	0.75^{d}	0.316^{d}	1.598^{a}	0.556^{f}	0.593^{a}	0.907^{e}	G6
0.603^{ab}	0.947^{a}	0.703^{e}	0.265^{d}	0.736^{d}	0.402^{d}	1.413^{ab}	0.693^{ef}	0.535^{a}	0.937^{e}	G7
0.508^{abcde}	0.978^{a}	0.792^{bcde}	0.37^{bcd}	0.853^{bcd}	0.601^{bcd}	1.192^{bcde}	0.857^{bcde}	0.553^{a}	1.153^{bcde}	G8
0.431^{cdef}	0.991^{a}	0.889^{bcd}	0.471^{bc}	1.004^{bc}	0.888^{bc}	1.01^{cdef}	0.993^{abcd}	0.56^{a}	1.448^{bcd}	G9
0.393^{def}	0.991^{a}	0.921^{b}	0.505^{b}	1.055^{b}	0.99^{b}	0.923^{def}	1.057^{abc}	0.56^{a}	1.55^{b}	G10
0.372^{ef}	0.991^{a}	0.925^{b}	0.511^{b}	1.048^{bc}	0.977^{b}	0.873^{ef}	1.095^{ab}	0.56^{a}	1.537^{bc}	G11
0.408^{def}	1.013^{a}	0.9^{bc}	0.477^{bc}	1^{bc}	0.856^{bc}	0.956^{def}	1.023^{abc}	0.573^{a}	1.428^{bcd}	G12
0.454^{bcdef}	1.04^{a}	0.873^{bcd}	0.447^{bcd}	0.943^{bcd}	0.711^{bca}	1.064^{bcdef}	0.953^{abcde}	0.588^{a}	1.298^{bcde}	G13
0.54^{abcd}	1.035^{a}	0.803^{bcde}	0.379^{bcd}	0.847^{bcd}	0.525^{cd}	1.266^{abcd}	0.802^{cdef}	0.585^{a}	1.11^{de}	G14
0.449^{bcdef}	0.956^{a}	0.804^{bcde}	0.381^{bcd}	0.87^{bcd}	0.66^{bcd}	1.054^{bcdef}	0.96^{abcde}	0.54^{a}	1.2^{bcde}	G15

ادامه جدول ۴

RDY	HM	RR	SNPI	SSPI	MSTI2	MSTI1	ATI	DI	Genptype
0.723^{bcd}	0.743^{bcde}	56.13^{abcd}	1.006^{ab}	31.73^{bc}	0.388^{bcd}	0.616^{bc}	0.326^{bcd}	0.428^{bcd}	G1
0.916^{b}	0.834^{ab}	57.9^{abcd}	1.084^{ab}	35.35^{b}	0.641^{ab}	1.019^{b}	0.411^{b}	0.443^{bcd}	G2
1.23^{a}	0.92^{a}	70.14^{a}	1.103^{ab}	54.81^{a}	0.836^{a}	1.909^{a}	0.698^{a}	0.318^{d}	G3
0.638^{bcd}	0.687^{de}	43.3^{det}	1.237^{ab}	22.45^{bcd}	0.603^{bcd}	0.603^{bc}	0.249^{bcde}	0.538^{abc}	G4
0.718^{bcd}	0.79^{bcde}	51.87^{bcde}	1.066^{ab}	24.34^{bcd}	0.453^{bcd}	0.37^{bc}	0.234^{bcde}	0.502^{bcd}	G5
0.535^{cd}	0.708^{cde}	31.88^{f}	1.287^{a}	11.92^{d}	0.342^{cd}	0.161^{c}	0.103^{e}	0.72^{a}	G6
0.502^{d}	0.673^{e}	39.75^{ef}	1.069^{ab}	15.16^{d}	0.267^{d}	0.168^{c}	0.127^{de}	0.571^{ab}	G7
0.632^{bcd}	0.736^{bcde}	49.48^{bcde}	1.042^{ab}	22.67^{bcd}	0.35^{cd}	0.309^{c}	0.21^{bcde}	0.503^{bca}	G8
0.803^{bc}	0.79^{bcde}	56.95^{abcd}	1.048^{ab}	33.52^{bc}	0.457^{bcd}	0.67^{bc}	0.357^{bc}	0.432^{bcd}	G9
0.861^{b}	0.807^{abcd}	60.65^{abc}	1.038^{ab}	37.36^{b}	0.495^{bcd}	0.805^{bc}	0.407^{b}	0.397^{bcd}	G10
0.872^{b}	0.817^{abc}	62.8^{ab}	1.015^{ab}	36.86^{b}	0.533^{bc}	0.789^{bc}	0.4^{bc}	0.369^{cd}	G11
0.814^{bc}	0.811^{abcd}	59.24^{abc}	1.038^{ab}	32.3^{bc}	0.509^{bcd}	0.571^{bc}	0.33^{bcd}	0.421^{bcd}	G12
0.763^{bcd}	0.808^{abcd}	54.63^{abcde}	1.06a^{b}	26.82^{bcd}	0.485^{bcd}	0.434^{bc}	0.265^{bcde}	0.472^{bcd}	G13
0.647^{bcd}	0.761^{bcde}	46.01^{cdef}	1.087^{ab}	19.81^{cd}	0.405^{bcd}	0.281^{c}	0.183^{cde}	0.562^{abc}	G14
0.651^{bcd}	0.743^{bcde}	55.04^{abcde}	0.976^{b}	24.91^{bcd}	0.365^{cd}	0.319^{c}	0.226^{bcde}	0.434^{bcd}	G15

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون در سطح یک درصد باهم اختلاف معنی‌داری ندارند

Averages with common letters in each column are not significantly different at the one percent level

Yp: عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال، Ys: عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تحت تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، RDI: شاخص خشکی نسبی، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، DI: شاخص تحمل به خشکی، ATI: شاخص تحمل غیر زیستی، MSTI1 و MSTI2: شاخص تحمل به تنش تغییریافته، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، SNPI: شاخص بهره‌وری در شرایط تنش و بدون تنش، RR: کاهش نسبی، HM: میانگین هارمونیک، RDY: شاخص کاهش نسبی عملکرد

SSI: Stress sensitivity index, RSI: Relative saline index, TOL: Tolerance index, MP: Mean productivity index, GMP: Geometric mean productivity index, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, YSI: Yield stability index, SI: Saline resistance index, ATI: Abiotic tolerance index, SSPI: Stress sensitivity percentage index, SNPI: Non-stress and stress environmental product index. Yp: Yield in normal condition, Ys; Yield in saline stress condition

با توجه به اینکه تحمل به خشکی یک صفت پیچیده بوده و عوامل مختلفی در آن دخالت دارند، لذا قضاوت پیرامون ارقام از نظر این صفت پیچیده و گاهی اوقات با نتایج متناقض همراه است بنابراین با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی و شاخص‌های کمّی مقاومت به خشکی می‌توان شاخص‌های مقاومت را غربال و مناسب‌ترین شاخص را انتخاب نمود. مناسب‌ترین شاخص، آن است که در هر دو شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی با عملکرد همبستگی معنی‌داری داشته باشد (۵). نتایج حاصل از تجزیه همبستگی شاخص‌ها با عملکرد در شرایط آبیاری معمولی Y_p و شرایط دیم Y_s نشان داد که بین شاخص‌های MP، STI، GMP، $MSTI_2$، HM و RDY با عملکرد در شرایط آبیاری معمولی و شرایط دیم همبستگی معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵). با توجه به توصیه‌های فرناندز (۱۸) شاخص‌هایی که دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو محیط تنش و بدون تنش باشند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها قابل استفاده هستند. لذا می‌توان این شاخص‌ها را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

غربال کردن ارقام مقاوم به خشکی که در شرایط آبیاری معمولی و شرایط دیم عملکرد بالایی دارند در نظر گرفت. حصادی (۲۲) و کرمی و همکاران (۲۵) نیز برای غربال لاین‌های جو متحمل به تنش خشکی چهار شاخص HM،GMP، MP و STI را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها معرفی کردند. عبدالشاهی و همکاران (۱) نیز همین شاخص‌ها را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم معرفی کردند. فرناندز (۱۸) دو شاخص STIو MP را برای غربال کردن لاین‌های مقاوم به خشکی در لوبیا در نظر گرفت. کریستین و همکاران (۲۷) در مطالعه بر روی ارقام لوبیا شاخص میانگین هندسی بهره‌وری GMP را به‌عنوان شاخص مطلوب انتخاب نمودند. در مطالعات صورت گرفته توسط فرشادفر (۱۶) بر روی لاین‌های نخود شاخص‌های GMP، HM، MP و STI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در نظر گرفته شده‌اند. فتح باهری و همکاران (۱۷) با ارزیابی برخی از شاخص‌های تحمل به خشکی در چند ژنوتیپ جو بهاره همبستگی معنی‌دار بین شاخصSTI با شاخص‌های GMP، MPو HM در شرایط تنش و بدون تنش گزارش کردند. شفازاده و همکاران (۴۰) به‌منظور بررسی تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم زمستانه و بینابین با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش آزمایشی را به مورد اجرا گذاشتند که نتایج نشان داد که رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها برای MP، GMP وSTI یکسان بود و از طرفی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این شاخص‌ها با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی مشاهده کردند. بنابراین نتیجه‌گیری کردند که سه شاخص مذکور برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های مناسب‌ترند.

تجزیه به مؤلفه اصلی

برای این منظور ابتدا از تجزیه چند متغیره مؤلفه‌های اصلی بر مبنای شاخص‌های مقاومت و عملکرد تحت شرایط نرمال و دیم استفاده گردید (جدول ۶). بای‌پلات مربوطه بر مبنای دو مؤلفه اوّل و دوم که حدود ۹۴ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه می‌کردند، رسم گردید (شکل ۱). در فضای بای‌پلات، ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مشخصی قرار گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد و مقاومت آن‌ها به کمبود آب است (شکل ۱ و جدول ۶). در این بررسی اولین مؤلفه اصلی ۷۹/۹۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمود (جدول ۵) و همبستگی مثبت و بالایی را با عملکرد در شرایط نرمال و نیز شاخص‌های SSI، TOL، MP، STI، GMP، ATI، MSTI1، MSTI2، SSPI، RR، HM و RDYو همبستگی منفی و بالایی با شاخص‌های RDI، YSI و DIداشت. به دلیل همبستگی بالای این مؤلفه با عملکرد در شرایط آبی این مؤلفه به نام مؤلفه پتانسیل عملکرد در شرایط آبی نام‌گذاری شد. دومین مؤلفه ۱۴/۰۴۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمود (جدول ۶) که همبستگی مثبت با عملکرد در شرایط دیم و شاخص‌های YI و SNPI نشان داد. در این حالت نیز به دلیل همبستگی این مؤلفه با عملکرد در شرایط دیم به نام مؤلفه پتانسیل عملکرد در شرایط دیم نام‌گذاری شد. نمودار بای‌پلات (شکل ۱) نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G2، G3، G9، G10، G11، G12 و G13 در قسمت مثبت نمودار مؤلفه اوّل قرار دارند. درواقع می‌توان گفت که این ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری خوبی به محیط‌های آبی هستند. از بین این ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های G3، G2 و G13 در قسمت مثبت نمودار مؤلفه دوم قرار دارند؛ بنابراین می‌توان این سه ژنوتیپ را ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط آبی و دیم معرفی کرد. به‌طورکلی این نوع نحوهٔ توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای پلات را می‌توان حاکی از وجود تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی دانست. نتایج حاصل از نمودار چند متغیره بای پلات نشان می‌دهد که مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها همان ژنوتیپ‌های G3، G2 و G13 می‌باشند. در بین ژنوتیپ‌های انتخابی ژنوتیپ G3 دارای بالاترین عملکرد در شرایط آبیاری معمولی و بالاترین سطح عملکرد در شرایط تنش خشکی بود، لذا می‌توان آن را به‌عنوان بهترین رقم در نظر گرفت. علی و السادک (۳) از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در گندم نان تحت شرایط تنش و بدون تنش استفاده کردند و نشان دادند که دو مؤلفه اول بیش از ۹۸ درصد از کل تغییرات مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی را به خود اختصاص داده‌اند. استفاده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات برای انتخاب ارقام مقاوم در نخود توسط فرشادفر (۱۶) و در لوبیا توسط فرناندز (۱۸) مورد توجه قرار گرفته است.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

جدول ۵- ضرایب همبستگی میان شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ژنوتیپ‌های جو مطالعه‌شده

Table 5. Correlation coefficients among tolerance and susceptibility indices in studied barley genotypes

	HM	RR	SNPI	SSPI	MSTI2	MSTI1	ATI	DI	YSI	YI	GMP	STI	MP	TOL	RDI	SSI	YS	YP		
YP																			1	YP
YS																		1	0.17	YS
SSI																	1	-0.22	0.84**	SSI
RDI																1	-1**	0.22	-0.84**	RDI
TOL															1	-0.89**	0.89**	0.02	0.99**	TOL
MP														1	0.96**	-0.78**	0.78**	0.31*	0.99**	MP
STI													1	0.99**	0.91**	-0.7**	0.7**	0.43**	0.96**	STI
GMP												1	0.98**	0.89**	-0.72**	0.72**	0.47**	0.95**	GMP	
YI											1	0.47**	0.43**	0.31*	0.02	0.22	-0.22	1**	0.17	YI
YSI										1	0.22	-0.72**	-0.7**	-0.78**	-0.89**	1**	-1**	0.22	-0.84**	YSI
DI									1	0.96**	0.48**	-0.51**	-0.51**	-0.61**	-0.79**	0.96**	-0.96**	0.48**	-0.7**	DI
ATI								1	-0.68**	-0.8**	0.13	0.91**	0.94**	0.97**	0.98**	-0.8**	0.8**	0.13	0.99**	ATI
MSTI1							1	0.96**	-0.51**	-0.64**	0.23	0.87**	0.92**	0.92**	0.9**	-0.64**	0.64**	0.23	0.92**	MSTI1
MSTI2						1	0.8**	0.77**	-0.23	-0.45**	0.67**	0.91**	0.92**	0.85**	0.69**	-0.45**	0.45**	0.67**	0.78**	MSTI2
SSPI					1	0.69**	0.9**	0.98**	-0.79**	-0.89**	0.02	0.89**	0.91**	0.96**	1**	-0.89**	0.89**	0.02	0.99**	SSPI
SNPI				1	-0.29*	0.21	-0.01	-0.16	0.78**	0.64**	0.66**	-0.01	0	-0.08	-0.29*	0.64**	-0.64**	0.66**	-0.18	SNPI
RR			1	-0.64**	0.89**	0.45**	0.64**	0.8**	-0.96**	-1**	-0.22	0.72**	0.7**	0.78**	0.89**	-1**	1**	-0.22	0.84**	RR
HM	1	0.55**	0.12	0.71**	0.94**	0.73**	0.75**	-0.3*	-0.55**	0.69**	0.95**	0.92**	0.88**	0.71**	0.91**	-0.55**	0.55**	0.69**	0.81**	HM
RDY	0.92**	0.7**	0	0.91**	0.92**	0.92**	0.94**	-0.51**	-0.7**	0.43**	0.99**	1**	0.99**	0.91**		-0.7**	0.7**	0.43**	0.96**	RDY

** و *: معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد به ترتیب

**, *: Significant in 0.01% and 0.05% respectively

Yp: عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال، Ys: عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تحت تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، RDI: شاخص خشکی نسبی، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، DI: شاخص تحمل به خشکی، ATI: شاخص تحمل غیر زیستی، MSTI1 و MSTI2: شاخص تحمل به تنش تغییریافته، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، SNPI: شاخص بهره‌وری در شرایط تنش و بدون تنش، RR: کاهش نسبی، HM: میانگین هارمونیک، RDY: شاخص کاهش نسبی عملکرد،

SSI: Stress sensitivity index, RSI: Relative saline index, TOL: Tolerance index, MP: Mean productivity index, GMP: Geometric mean productivity index, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, YSI: Yield stability index, SI: Saline resistance index, ATI: Abiotic tolerance index, SSPI: Stress sensitivity percentage index, SNPI: Non-stress and stress environmental product index. Yp: Yield in normal condition, Ys; Yield in saline stress condition,

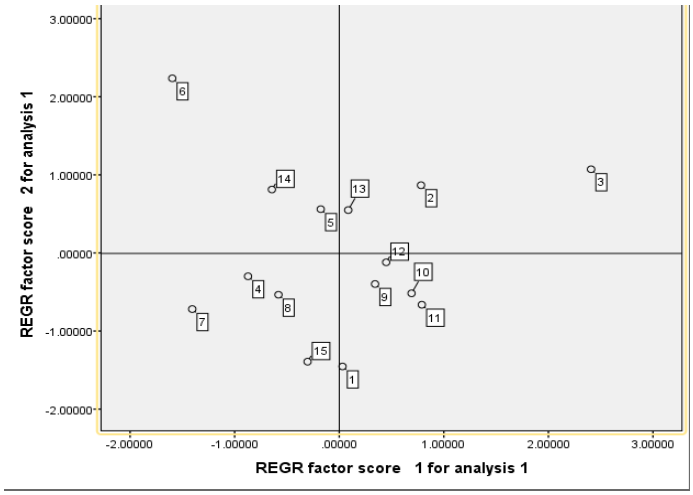
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

جدول ۶- مقادیر ویژه، سهم تجمعی و بردارهای ویژه شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش
Table 6. Eigen values, cumulative contribution and eigenvectors of drought tolerance indices and grain yield under drought stress and non-drought conditions

Second Component مؤلفه دوم	First Component مؤلفه اول	index شاخص
-0.001	0.993	YP
0.855	0.365	YS
-0.262	0.952	SSI
0.262	-0.952	RDI
-0.07	0.986	TOL
0.07	0.993	MP
0.147	0.98	STI
0.133	0.99	GMP
0.855	0.365	YI
0.262	-0.952	YSI
0.432	-0.896	DI
0.018	0.971	ATI
0.144	0.907	MSTI1
0.331	0.921	MSTI2
0.074	0.986	SSPI
0.688	-0.396	SNPI
-0.262	0.952	RR
0.258	0.944	HM
0.147	0.984	RDY
14.05	79.95	Percentage of variance
94	79.95	Cumulative variance percentage

Yp: عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال، Ys: عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تحت تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، RDI: شاخص خشکی نسبی، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، STI: شاخص تحمل به تنش، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، DI: شاخص تحمل به خشکی، ATI: شاخص تحمل غیر زیستی، MSTI1 و MSTI2: شاخص تحمل به تنش تغییریافته، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، SNPI: شاخص بهره‌وری در شرایط تنش و بدون تنش، RR: کاهش نسبی، HM: میانگین هارمونیک، RDY: شاخص کاهش نسبی عملکرد.
SSI: Stress sensitivity index, RSI: Relative saline index, TOL: Tolerance index, MP: Mean productivity index, GMP: Geometric mean productivity index, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, YSI: Yield stability index, SI: Saline resistance index, ATI: Abiotic tolerance index, SSPI: Stress sensitivity percentage index, SNPI: Non-stress and stress environmental product index. Yp: Yield in normal condition, Ys; Yield in saline stress condition



شکل ۱- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مطالعه شده با استفاده از شاخص‌های محاسبه‌شده از طریق تجزیه به مولفه‌های اصلی
Figure 1. Grouping of studied genotypes using calculated indices through principal component analysis

تجزیه خوشه‌ای

جهت گزینش بهتر ژنوتیپ‌های جو در طی دو شرایط آزمایش بر اساس شاخص‌های تحمل، اقدام به تجزیه خوشه‌ای شد تجزیه خوشه‌ای برحسب شاخص‌ها با استفاده از روش WARD انجام گرفت. این روش نسبت به دیگر روش‌ها گروه‌بندی بهتری را برای ژنوتیپ‌ها نشان داد. جهت تعیین فاصله بین ژنوتیپ‌ها از مربع فاصله اقلیدسی استفاده شد (شکل ۲)؛ اما ازآنجایی‌که شاخص‌های MP، STI، GMP، $MSTI_2$، HM و RDYهمبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه هم در شرایط آبیاری کامل و هم در شرایط دیم داشتند تنها از این شاخص‌ها جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های جو استفاده شد (۴۲). با برش دندروگرام از محل‌های مختلف ۲ و ۴ گروه ایجاد گردید. جهت انتخاب بهترین گروه‌بندی از تجزیه واریانس چند متغیره بر مبنای طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. در این تجزیه گروه‌ها به‌عنوان تیمار و شاخص‌های داخل گروه‌ها به‌عنوان تکرار درنظر گرفته شدند. در حالت‌های مختلف برش دندروگرام، گروه‌بندی انجام شد که مقادیر آماره ویلکس لامبدا و F حالت‌های مختلف برش در جدول ۷ آمده است. در هر حالت برشی که بیشترین مقدار Fبه‌دست آمد، بهترین نوع گروه‌بندی خواهد بود. در این حالت اختلافات بین گروه‌ها خیلی بیشتر از اختلاف درون گروه‌ها بوده و گروه‌بندی صحیح‌تری انجام می‌شود. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود ژنوتیپ‌های موردبررسی در ۲ دسته گروه‌بندی شدند. ژنوتیپ‌های G1، G2، G3، G9، G10 و G11 در یک گروه قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بیشترین میزان مؤلفه اول را به خود اختصاص دادند و از نظر شاخص‌های محاسبه‌شده، می‌توان آنها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در نظر گرفت.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

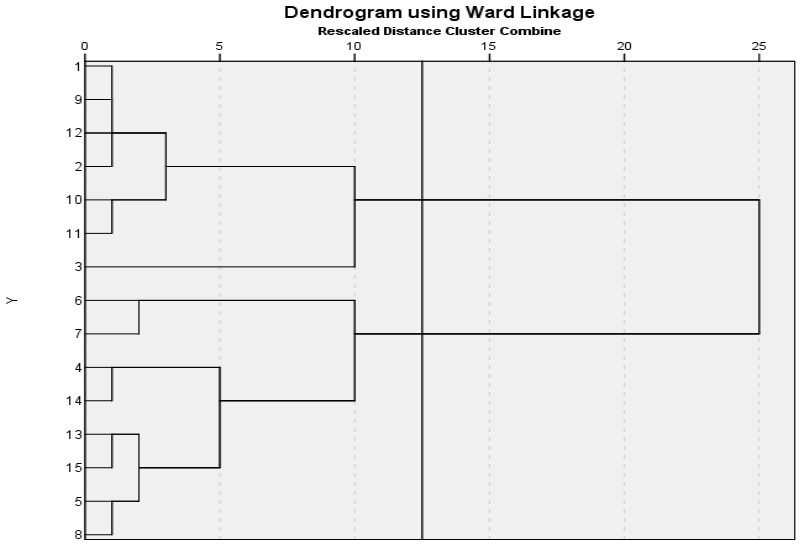
بقیه ژنوتیپ‌ها در گروه دوم جای گرفتند که مقدار کمتری از مؤلفه اول را نشان دادند و ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند.

جدول ۷- مقادیر F و آماره‌های ویلکس لامبدا برای حالت‌های مختلف گروه‌بندی بر مبنای شاخص‌های اندازه‌گیری شده
Table 7. Values F and wilkes lambda statistics for different grouping modes based on measured indicators

Lambda statistic آماره لامبدا	F statistic آماره F	Group Number تعداد گروه‌ها
0.009	29.404**	2
	12.696**	4

** و *: معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد به ترتیب

**, *: Significant in 0.01% and 0.05% respectively



شکل ۲- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مطالعه شده با استفاده از شاخص های محاسبه‌شده از طریق تجزیه خوشه‌ای
Figure 2. Grouping of studied genotypes using calculated indices through cluster analysis

از راه‌های افزایش عملکرد جو، کاهش تأثیرات منفی تنش‌های محیطی مخصوصاً تنش خشکی از طریق اصلاح ارقام متحمل به خشکی است. به همین دلیل برای دستیابی به عملکرد بالا علاوه بر استفاده از روش‌های نوین به زراعی، باید مسئله به‌نژادی یعنی یافتن ارقام متحمل به خشکی مورد توجه قرار گیرد. این امر برنامه گزینش ژنوتیپ‌های متحمل را هدفمند می‌نماید و این موضوع افزایش تولید در واحد سطح را به‌همراه خواهد داشت (۳۶). در دهه اخیر در زمینه تنش‌های گیاهی حاصل از خشکی مطالعات زیادی صورت گرفته است. به‌کارگیری نتایج حاصل در برنامه‌های کلاسیک اصلاح نباتات با مشکلاتی روبرو بوده است. علت این امر عمدتاً وجود اثر متقابل شدید بین ژنوتیپ و محیط ذکر شده که ارتباط صفات با هم و با عملکرد دانه را شدیداً دچار تغییر و تحول می‌نماید (۳۹). بهترین راهکار برای بهبود عملکرد و پایداری عملکرد گیاه زراعی در شرایط خشکی، ایجاد واریته‌های متحمل به خشکی است (۱۵). پایداری و ثبات عملکرد نشان‌دهنده تفاوت بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی در طول مدت تنش محیطی است (۳۳). در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی متناسب نیست، پتانسیل عملکرد در شرایط تنش بهترین معیار برای تحمل به خشکی نیست، بلکه پایداری عملکرد و مقایسه میزان عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به‌عنوان معیارهای مناسب‌تری برای سنجش واکنش ارقام به تنش رطوبتی معرفی شده‌اند (۲۱).

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مشخص شد که شرایط تنش خشکی باعث کاهش بیش از ۵۰ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال گردید. بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، از نظر کلیه شاخص‌های کمّی تحمل به خشکی (به‌جز شاخص YI و SNPI) و نیز عملکرد در شرایط تنش اختلاف بسیار معنی‌داری وجود داشت. بین شاخص‌های MP، STI، GMP، $MSTI_2$، HM و RDY محاسبه‌شده با عملکرد در شرایط آبیاری معمولی و دیم همبستگی معنی‌داری وجود داشت؛ بنابراین می‌توان از این شاخص‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش استفاده کرد. گروه‌بندی ژنوتیپ‌های جو بر اساس شاخص‌های کمی و کیفی محاسبه‌شده نشان داد، ژنوتیپ‌های G2، G3 و G13 به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در شرایط آبیاری کامل و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های جو نسبت به تنش کم‌آبی شناسایی شدند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

منابع

1. Abdulshahi, R., M. Omidi, A. Talei and B. Yazdi Samadi. 2010. Evaluation of bread wheat genotypes in terms of drought tolerance. Iranian Journal of Crop Science, 3(1): 1-14 (In Persian).
2. Ahmadi, A., M. Judy, A. Tavakoli and M. Ranjbar. 2008. Investigation of yield and some related morphological reactions in different wheat genotypes under stress and non-stress conditions. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 46: 155-165 (In Persian).
3. Ali, M.B. and A.N. El-Sadek. 2016. Evaluation of drought tolerance indices for wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigated and rainfed conditions. Communications in Biometry and Crop Science, 11: 77-89.
4. Asghari, A., S. Tadili, R. Karimizadeh, O. Sofalion, and H.R. Mohammaddoust Chamanabad. 2000. Evaluation of stress tolerance in durum wheat genotypes based on tolerance indices, Journal of Crop Breeding, 12(34): 185-198 (In Persian).
5. Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, FLPP, 38-78.
6. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
7. Calhoum, D.S., C. Gebeyehu, A. Miranda, S. Rajaram, and M. Van Ginkel. 1994. Choosing evaluation environments to increase grain yield under drought conditions. Crop Science, 34: 673-678.
8. Chaves, M.M., J.P. Maroco, and J.S. Pereira. 2003. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. Functional Plant Biology, 30: 239-264.
9. Dolatpanah, T., M. Rustaei, F. Ahkapz and N. Mohebalipour. 2013. The effect of drought stress on yield and its components in intermediate and winter barley genotypes in Maragheh region. Seed and Plant Journal, 1-29(2): 257-275 (In Persian).
10. Eghbali, S., S. Aharizad, M. Yarnia, and M. khalili. 2016. Evaluating of drought tolerance of doubled haploid barley (*Hordeum vulgare* L.) lines using toleance indices. Journal of Crop Ecophysiology, 10(1): 139-149 (In Persian).
11. Ehdaie, B., G.A. Alloush, M.A. Madore, and J.G. Waines, 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: Postanthesis changes in internode dry matter. Crop Science, 46: 735-746.
12. Ehdaie, B., J.G. Waines and A.E. Hall. 1988. Differential responses of landrace and improved spring wheat genotypes to stress. Crop Science, 28: 838-842.
13. El-Monayeri, M.O., A.M. Hegazi, N.H. Ezzat, M.H. Salem and S.M. Tahoun. 1984. Growth and yield of some wheat and barley varieties grown under different moisture stress levels. Annals of Agricultural Science Moshtobor, 20: 231-243.
14. FAO. 2020. http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E.
15. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agron. Hung., 50: 411-16.
16. Farshadfar, A. 2000. Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 32: 65-75 (In Persian).
17. Fath Baheri, S., A. Javanshir, H. Kazemi and S. Ahri Zad. 2003. Evaluation of some drought tolerance indices in several spring barley genotypes. Journal of Agricultural Knowledge, 13(3): 95-105 (In Persian).
18. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kue C. G. (ed.), Adaptation of food crops to temperature and water stress. 257-270 pp.
19. Fisher, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Research, 29: 897-917.
20. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi, and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science, 77: 523-531.
21. Golestani, M. and H. Paknit. 2007. Evaluation of drought tolerance indices in sesame lines. Journal of Agricultural Science and Technology, 1: 141-149 (In Persian).
22. Hesadi, P. 2006. Selection for drought tolerance in barley lines in Kermanshah climatic conditions. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 12: 143-153 (In Persian).
23. Ilker, E., Ö. Tatar, F. AykutTonk, and M. Tosun. 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. Turkish Journal of Field Crops, 16(1): 59-63.
24. Kamrany, M., A. Mehraban, and M. Shiri. 2019. Identification of drought tolerant genotypes in dryland wheat using drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 10(28): 13-26 (In Persian).
25. Karami, A., M.R. Ghanadha, M. Naghavi, and M. Mardi. 2005. Evaluation of drought resistance in barley. Journal of Agricultural Sciences, 36(3): 547-560 (In Persian).
26. Khorshid, A.M. and A. rajabi. 2014. Investigation on quantity and quality characters of sugar beet advanced breeding populations in drought and salinity stress and non-stress conditions, International Journal of Agriculture and Crop Sciences, Available online at www.ijagcs.com IJACS/2014/7-9/532-536.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

27. Kristin, A.S., R.R. Serna, F.I. Perez, B.C. Enriquez, J.A.A. Gallegos, P.R. Vallejo, N. Wassimi and J.D. Kelley. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science, 37: 43-50.
28. Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agricult Bor-occid Sinic, 7: 85-87.
29. Mahdavi, A.M., B. Sorkhi Allahlo, 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).
30. Moghadam, A. and M. Hadizadeh. 2002. Reaction of corn hybrids and their parent lines to drought using different stress tolerance indices. Seed and Plant Journal, 18(3): 255-272 (In Persian).
31. Mohammadi, S., B. Sorkhy, M. Bayat and S. Sharafi, 2014. Evaluating resistance of different barley (*Hordeum vulgar* L.) genotypes to water deficit stress using physiological traits. International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences. 2(6): 209-219.
32. Moosavi, B., B. Yazdi Samadi, M.R. Naghavi, A.A. Zali, H. Dashtid and A. Pourshahbaz. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Online at http://jdesert.ut.ac.ir.
33. Nabi Pour, A.R., B. Yazdi Samadi, A. Zali and K. Postini. 2001. Investigation of the effect of drought on some morphological traits and the relationship between these traits and stress sensitivity index in several wheat genotypes. Desert Journal, 7: 31-47 (In Persian).
34. Naderi, A., A. Hashemi Dezfuli, R. Shokrani and A. Rezaei. 1998. Effects of irrigation cut-off time and harvest date on quantitative and qualitative yield of sugarcane of CP-57 variety in Khuzestan, Iranian Journal of Crop Sciences, 1(1): 13-19 (In Persian).
35. 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×Irri). Seed and Plant Improvement Journal, 30(4): 821-840 (In Persian).
36. Poor Saleh, M. 1993. Cereals (wheat, barley, rice, corn). Saffar Publications. 511 p.
37. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science, 21: 943-946.
38. Saberi, A., K.H. Mustafavi and A. Mehraban. 2016. The effect of drought stress on some morphological traits in different barley cultivars. Agronomy and Plant Breeding, 12(4): 91-103 (In Persian).
39. Schneiter, A.A., B.L. Johnson and T.L. Henderson. 1992. Rooting depth and water use of different sunflower phenotypes. In proceeding of 13th International sunflower Conference, Pisa, Italy.
40. Shafazadeh, M., A. Yazdan Sepas, A. Amini and M.R. Ghanadha .2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices, Seed and Plant Journal, 20(1): 57-71 (In Persian).
41. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evalution of drought resistance indices under various environmental conditions. Field crops Research, 98: 222-229.
42. Singh, B.D. 2000. Plant Breeding-Principles and Methods. Kalyani Publisher. 896 pp.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]

Identification of Drought Tolerant Genotypes in Barley using Quantitative Tolerance Indices

Ali Akbar Asadi[1], Behroz Mohammadi[2], Hossein Nazari[3] and Farhad Ahakpaz[4]

1- Assistant of Professor, Crop and Horticultural Science Research department,Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran, (Corresponding Aouther: asadipm@gmail.com)
2- Expert in Agricultural in Crop and Horticultural Science Research department,Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran
3- Assistant of Professor, Crop and Horticultural Science Research department,Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zanjan, Iran
4- Assistant Professor Maragheh Rainfed Agricultural Research Institute, Iran
Received: 17 April, 2022 Accepted: 3 July, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: The most important factor limiting plant growth in rainfed conditions is water, and since most of the land in Iran is located in arid and semi-arid regions, determining the relative drought tolerance in crops is of particular importance. By evaluating the genotypes of each plant that are able to provide relatively acceptable yield under low water conditions, they can be grown with more confidence in arid and semi-arid regions.

Material and Methods: In order to investigate the effect of drought stress and selection of drought tolerant genotype in barley, 15 different genotypes under two conditions of normal irrigation and rainfed conditions in randomized complete block design with four replications in 2020-2021 in Khairabad and Khodabandeh research stations Of Zanjan province were studied.

Results: The results of combined analysis showed that there was a significant difference between genotypes in terms of grain yield between normal irrigation and rainfed conditions and rainfed conditions reduced grain yield by more than 50% compared to normal irrigation conditions. Under normal irrigation conditions, the highest yields belonged to G3, G10 and G11 genotypes, respectively, and under rainfed conditions, despite the lack of significant differences between genotypes, the highest yields belonged to G3, G6 and G2 genotypes, respectively. There was a significant difference between the studied genotypes in terms of all quantitative indices of drought tolerance (except YI and SNPI) as well as yield under stress. Correlation analysis of indices with yield under normal irrigation and rainfed conditions showed that there was a significant correlation between MP, STI, GMP, MSTI2, HM and RDY indices with yield under normal irrigation and rainfed conditions. Correlation of indices with yield under normal irrigation and rainfed conditions showed that there was a significant correlation between MP, STI, GMP, MSTI2, HM and RDY indices with yield under normal irrigation and rainfed conditions. Principal component analysis based on indices showed that the first component and second components explain 79.95% and 14.049% of the total changes. The bioplate diagram of the components showed that genotypes G1, G2, G3, G9, G10, G11, G12 and G13 were in the positive part of the first component diagram and these genotypes had good adaptation in normal irrigation conditions. Among these genotypes, G2, G3 and G13 genotypes were in the positive part of the second component diagram, so these genotypes can be introduced as high-yield genotypes in both irrigated and rainfed conditions. Cluster analysis showed that G1, G2, G3, G9, G10 and G11 genotypes were in the same group and these genotypes can be considered as drought tolerant genotypes in terms of calculated indices.

Conclusion: There was a significant correlation between MP, STI, GMP, MSTI2, HM and RDY indices calculated with yield under normal irrigation and rainfed conditions. Therefore, these indices can be used to select stress-tolerant genotypes. Grouping of barley genotypes based on calculated quantitative and qualitative indices showed that G2, G3 and G13 genotypes were identified as superior genotypes in full irrigation conditions and the most tolerant barley genotypes to low water stress.

Keywords: Cluster analysis grouping, Drought stress, Index, Principal component analysis

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-18]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.46]