دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی تحمل به خشکی آخر فصل در برخی از ژنوتیپ‌های جو با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

امان الله سلیمانی[۱]، محمدرضا بی‌همتا[۲]، سیدعلی پیغمبری[۳] و رضا معالی‌امیری[۴]

۱، ۳ و ۴- دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران (نویسنده مسوول: mrghanad@ut.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۱۱ تاریخ پذیرش:۹۵/۶/۱۵

چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده محیطی در کشاورزی جهان می‌باشد. بهره‌برداری از پتانسیل عملکرد گیاهان زراعی و افزایش پایداری عملکرد آنها در مناطق خشک و مستعد به خشکی می‌تواند تضمینی برای تغذیه جمعیت روز افزون مردم جهان باشد. به همین منظور برای ارزیابی تحمل به خشکی آخر فصل و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش، ۲۱ ژنوتیپ جو در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ۲ محیط بدون تنش و تنش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران واقع در کرج مطالعه شدند. برای اعمال تنش، آبیاری در مرحله پدیدار شدن ریشک‌ها (کد ۵۰ زادوکس) قطع گردید. عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) اندازه‌گیری و تجزیه واریانس بر روی داده‌ها انجام شد. شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM که بیشترین همبستگی معنی‌دار را با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش داشتند، به‌عنوان شاخص‌های برتر برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل معرفی شدند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم نمودار بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های Rihan03، Yousef و Fajre30 به ترتیب دارای بیشترین تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های Rihan و Morocco-9-75 (رقم شاهد حساس) دارای کمترین تحمل به خشکی و لاین D10 دارای بیشترین عملکرد در محیط بدون تنش و نسبتاً متحمل بود. تجزیه خوشه‌ای براساس شاخص‌های MP، GMP، HARM، STI، TOL و SSI و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، ژنوتیپ‌های مورد بررسی را به ٦ گروه تقسیم کرد. اکثر ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد بالا که اختلاف عملکرد آنها در شرایط بدون تنش و تنش نیز نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها کمتر بود، در گروه ششم، پنجم و چهارم و ژنوتیپ‌های حساس به خشکی در گروه اول و سوم قرار گرفتند. بر اساس نتایج بدست آمده ژنوتیپ‌های Rihan03، Yousef و Fajre30 متحمل به تنش خشکی آخر فصل، ژنوتیپ‌های Nik، Kavir، Inc73 و Inc79 نسبتاً متحمل به خشکی و ژنوتیپ‌های Rihan، Morocco-9-75، Sahra و Inc82 حساس شناخته شدند. لاین D10 نیز به دلیل عملکرد بسیار خوب در شرایط بدون تنش و متوسط در شرایط تنش احتمالاً پتانسیل تبدیل به رقم تجاری مناسب را دارد.

واژه‌های کلیدی: جو، عملکرد دانه، تنش خشکی، شاخص‌های تحمل به خشکی

مقدمه

خشکی عبارت است از رطوبت ناکافی که موجب کاهش تولید گیاه می‌گردد (۸). خشکی به خاطر تغییرات جهانی اقلیم (مثل گرم شدن دما که باعث افزایش تبخیر و تعرق در گیاه می‌گردد)، تأثیر بسزایی بر باروری گیاهان زراعی در آینده خواهد داشت (۴۰،۵۰). در میان تنش‌های زیستی و غیر زیستی، خشکی یکی از محدودیت‌های اساسی محیطی تولیدات کشاورزی در گستره جهانی می‌باشد (۲۲،۱۲). جو (*Hordeum vulgare* L.) به‌عنوان چهارمین غله در جهان (بعد از گندم، برنج و ذرت) رتبه‌بندی شده و بیشتر برای تغذیه دام و تولید مالت استفاده می‌شود (۲۷،۱۹). جو از جمله سازگارترین غلات به شرایط محیطی می‌باشد (۲۴) که دارای انرژی بالا غذایی بوده و از لحاظ محیطی گیاهی ایمن می‌باشد (۲۸). در ایران از لحاظ سطح زیر کشت، جو بعد از گندم در رتبه دوم قرار دارد. بر اساس آمار منتشره در سال ۲۰۱۳ در جهان حدود ۱۴۵/۳ میلیون تن جو، از حدود ۴۹/۶۶ میلیون هکتار و در ایران نیز بیش از ۲/۸ میلیون تن از حدود ۱/۶۴ میلیون هکتار زمین کشاورزی در همین سال برداشت شده است (۱۳). اصلاح ارقام جدید متحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده به‌عنوان بخش ضروری در اصلاح پایدار گیاهان زراعی مد نظر است (۱۱). اصلاح عملکرد تحت شرایط خشکی یکی از اهداف اصلی اصلاح نباتات می‌باشد (۱۰). از آنجا که جو پتانسیل تولید عملکرد رضایت بخشی از لحاظ کیفی و کمی تحت شرایط نامناسب خاک را دارد (۲۸)، در ضمن بخش اعظمی از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه خشک قرار گرفته است، زراعت این محصول در کشور ایران مورد توجه می‌باشد (۴). اما هرساله خسارت زیادی به خاطر خشکسالی به تولید این محصول وارد می‌شود، به‌عنوان مثال در سال ۲۰۰۱ کاهش تولید گندم و جو بر اثر خشکسالی در ایران، ۷۵-۳۵ درصد تخمین زده شد (۱،۱۴). تحمل به خشکی یک صفت کلیدی برای افزایش و پایداری تولید جو در نواحی خشک در سطح جهان می‌باشد (۲۲). تعریف این صفت عبارت از توانایی گیاه برای زنده ماندن، رویش و تولید رضایت بخش در شرایط محدودیت آب. گیاهان زراعی نه تنها بایستی توانایی زنده ماندن تحت شرایط خشکی را داشته باشند بلکه باید توانایی تولید محصول قابل برداشت را نیز دارا باشند (۱۸). توانایی تحمل شرایط محیطی نامساعد از قبیل خشکی در طی نمو اندام‌های زایشی جزء کلیدی در موفقیت دوره زایشی گیاه است (۳۷). به علت فقدان اطلاعات جامع در ارتباط با مکانیسم‌های ژنتیکی تحمل به خشکی و عملکرد دانه تحت شرایط خشکی، درک مکانیسم مقاومت به خشکی احتمالاً مشکل‌تر از سایر صفات در گیاهان زراعی می‌باشد

(۵،۴۵). پیچیدگی مکانیسم‌های تحمل به خشکی پیشرفت کندی را در اصلاح عملکرد در محیط‌های مستعد خشکی نشان می‌دهد (۱۰). تحمل به خشکی صفتی است کمی و روش اندازه‌گیری مستقیمی برای آن وجود ندارد. این امر باعث مشکل شدن شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی می‌شود (۴۷). غربال نمودن و انتخاب از راهکارهای مهم برنامه‌های اصلاحی گیاهان زراعی می‌باشند. برای غربال مؤثر، سنجش بایستی تحت شرایط محیطی کنترل شده انجام شود (۲۶). انتخاب یکی از روش‌های معمول شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل جو بر اساس کارآیی عملکرد آنها تحت شرایط خشکی می‌باشد. از جمله سایر روش‌های دیگر می‌توان به شناسایی شاخص‌های تحمل به تنش اشاره کرد (۴۰). ارزیابی لاین‌های اصلاح شده در محیط‌های مختلف با سطوح تنش خشکی یکسان به اصلاحگر جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب برای نواحی مستعد کمک می‌کند (۳۴). شاخص مقاومت به خشکی، مقیاسی از خشکی را فراهم می‌کند که از آن برای غربال ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی براساس میزان خسارت وارده به عملکرد تحت شرایط خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش استفاده می‌شود (۲۹). چندین شاخص تحمل براساس رابطه بین عملکرد تحت شرایط خشکی و غیرتنش پیشنهاد شده است (۳۴). از جمله این شاخص‌ها می توان به شاخص حساسیت به تنش[1] (SSI) (۱۶)، شاخص تحمل[2] (TOL)، شاخص میانگین هارمونیک بهره‌وری[3] (HARM) و شاخص میانگین بهره‌وری[4] (MP) (۳۴)، شاخص پایداری عملکرد[5] (YSI) (۹)، شاخص تحمل به تنش[6] (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری[7] (GMP) (۱۵)، شاخص عملکرد[8] (YI) (۱۹) و نرخ کاهش عملکرد[9] (Yr) (۲۱) اشاره کرد. سبحانی و همکاران (۴۵) برای گروه‌بندی ۱۶ ژنوتیپ جو، شرفی و همکاران (۴۱) برای گروه‌بندی ۲۰ ژنوتیپ زمستانه جو، شرفی و همکاران (۴۰) برای گروه‌بندی ۲۰ ژنوتیپ جو، سلیمانی و همکاران (۴۴) برای گروه‌بندی ۱۰ ژنوتیپ جو، زر (۵۲) برای گروه‌بندی ۱۰ ژنوتیپ جو، طاهری‌پورفرد و همکاران (۴۶) برای گروه‌بندی ۲۰ ژنوتیپ جو، سعیدی و همکاران (۳۶) برای گروه‌بندی ۱۲ رقم جو، حدادین (۲۳)، برای گروه‌بندی ۳ ژنوتیپ جو در ۳ سطح تنش آبی، طالبی و همکاران (۴۸) برای گروه‌بندی ۲۴ ژنوتیپ گندم دوروم، بخشایشی قشلاق و شکارچی‌زاده (۶) برای گروه‌بندی ۱۳ ژنوتیپ گندم، رحیمی و همکاران (۳۳) برای گروه‌بندی ۱۵۰ لاین برنج، الله‌دو (۳) برای گروه‌بندی ۱۱ لاین *تریتیپیروم*[10] و اشنایدر و همکاران (۳۸) برای ارزیابی ۲ رقم لوبیا در ۲ سطح تنش و ۷ مکان از شاخص‌های تحمل ذکر شده در آزمایشات خود استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیق حدادین (۲۳) در جو نشان داد که تنش خشکی، عملکرد دانه و اجزاء آنرا در گیاه (عملکرد بیولوژیک، عملکرد کاه و کلش، تعداد خوشه در گیاه، تعداد دانه در خوشه، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص برداشت) کاهش می‌دهد. سعیدی و همکاران (۳۶) بیان داشتند،کمبود آب پس از مرحله گل‌دهی به ترتیب باعث ۲۲، ۱۸/۳، ۵/۹، ۵/۵ و ۲۱/۹ درصد کاهش بطور متوسط در عملکرد دانه، زیست توده، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه و تعداد خوشه در مترمربع می‌شود اما اثر معنی‌داری بر روی شاخص برداشت ندارد. عملکرد دانه ناشی از اثرات ترکیبی ژنوتیپ، محیط و ژنوتیپ×محیط می‌باشد (۵۰). فرناندز (۱۵) واکنش گیاهان را براساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تنش و بدون تنش به ۴ گروه تقسیم کرد: گروه A: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط دارای عملکرد یکسانی هستند. گروه B: ژنوتیپ‌هایی که در محیط بدون تنش عملکرد خوبی دارند. گروه C: ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش عملکرد خوبی دارند. گروه D: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط عملکرد کمی دارند. بهترین شاخص آن است که بتواند گروه A را از ۳ گروه دیگر متمایز کند. انتخاب بر اساس ترکیبی از شاخص‌ها ممکن است معیار مفیدی برای اصلاح مقاومت به خشکی در جو فراهم آورد. مطالعه همبستگی[11] یکی از روش‌های پی بردن به درجه ارتباط کلی بین متغیرهاست، این شاخص فقط برای محاسبه درجه ارتباط بین ۲ خصوصیت اندازه‌گیری شده مفید می‌باشد. بنابراین می‌توان از روش‌های چند متغیره‌ای نظیر تجزیه بای‌پلات (که یک روش تجسمی است)، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی[12] (PCA) و تجزیه خوشه‌ای[13] برای شناسایی واریته‌های برتر در محیط‌های تنش و غیر تنش و گروه‌بندی آنها استفاده کرد (۱۶). محققین زیادی از این روش‌ها برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف استفاده کرده‌اند (۴۵،۵۳،۱۲،۴۰،۴۳). هدف از تحقیق حاضر ارزیابی تحمل به خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های جو، شناسایی ارقام متحمل به خشکی و تعیین کارآیی شاخص‌های تحمل در گروه‌بندی ارقام متحمل و حساس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش تعداد ۱۴ رقم و ۷ لاین جو (جدول ۱) در ۲ آزمایش جداگانه با فاصله ۵ متر از یکدیگر و به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی با ارتفاع۱۱۱۲/۵ از سطح دریا در آذرماه ۱۳۹۳ کاشت و ارزیابی شدند. براساس آمار بلند مدت ایستگاه هواشناسی کرج، شهرستان کرج با بارندگی سالیانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر، میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۴C° که بیشینه و کمینه مطلق آن به ترتیب ۴۲ C° و ۲۰C°- می‌باشد، میانگین رطوبت نسبی ۵۳ درصد و تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی‌متر دارای اقلیم نیمه خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل می‌باشد. در یک آزمایش، آبیاری معمولی و در آزمایش دیگر، جهت اعمال تنش خشکی (تنش آخر فصل)، آبیاری در هنگام پدیدار شدن ریشک‌ها کد ۵۰ زادوکس (۵۱)] قطع گردید. در طول مدت اعمال تنش، بر اساس آمار هواشناسی کرج بارندگی صورت نگرفت (از۱۳۹۴/۲/۱۴ لغایت ۱۳۹۴/۳/۳۱). میزان کودهای فسفره و پتاسه براساس آزمون خاک در مرحلهٔ کشت و کودهای نیتروژن‌دار مورد نیاز در مرحلهٔ کشت و پنجه‌زنی به خاک اضافه شد. کشت بذور به صورت دستی و به صورت فارویی انجام و هر کرت آزمایشی شامل ۴ ردیف به طول ۱/۵ و

1- Stress susceptibility index 2-Tolerance 3- Harmonic mean 4- Mean production
5- Yield stability index 6- Stress tolerance index 7- Geometric mean productivity 8- Yield index
9- Yield reduction 10- *Tritipyrum* 11- Correlation 12- Principle Component Analysis 13-Cluster Analysis

عرض ۱/۱ متر (مساحت ۱/۶۵ مترمربع) در نظر گرفته شد. فواصل کاشت شامل ۵ سانتی‌متر روی هر ردیف، ۲۲ سانتی‌متر بین دو ردیف روی هر پشته، ۳۳ سانتی‌متر بین پشته‌ها و در مجموع تعداد ۱۲۰ بوته در هر کرت بود. یاداشت‌برداری جهت تعیین عملکرد ژنوتیپ‌ها از دو ردیف وسط و از ۴۰ بوته میانی انجام شد. علف‌های هرز به صورت وجین دستی کنترل شدند. سپس با استفاده از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف تحت شرایط بدون تنش و تنش، شاخص‌های کمی تحمل به تنش به شرح زیر محاسبه گردید (معادلات ۱ الی ۱۰):

معادله ۱: شاخص میانگین بهره‌وری (۳۵)،

$$MP = (\bar{Y}pi + \bar{Y}si)/2$$

معادله ۲: شاخص تحمل (۳۵)، $TOL = (\bar{Y}pi - \bar{Y}si)$

معادله ۳: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (۱۵)،

$$GMP = \sqrt{(\bar{Y}pi \times \bar{Y}si)}$$

معادله ۴: شاخص شدت تنش (۱۷)،

$$SI = 1 - \bar{Y}s\ \bar{Y}$$

معادله ۵: شاخص حساسیت به تنش (۱۷)،

$$SSI = [1 - (\bar{Y}si/\bar{Y}pi)]/SI$$

معادله ۶: شاخص تحمل به تنش (۱۵)،

$$STI = (\bar{Y}pi \times \bar{Y}si)/(\bar{Y}p)^2$$

معادله ۷: شاخص عملکرد (۲۰)، $YI = (\bar{Y}si/\bar{Y}s)$

معادله ۸: شاخص پایداری عملکرد (۹)،

$$YSI = (\bar{Y}si/\bar{Y}pi)$$

معادله ۹: شاخص میانگین هارمونیک بهره‌وری (۳۶)،

$$ARM = (2(\bar{Y}pi \times \bar{Y}si))/(\bar{Y}pi + \bar{Y}si)$$

معادله۱۰: شاخص نرخ کاهش عملکرد (۲۱)،

$$Yr = 1 - (\bar{Y}si/\bar{Y}pi)$$

در این معادلات Ȳp: میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط بدون تنش، Ȳs: میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف تحت شرایط تنش، Ȳpi: میانگین عملکرد ژنوتیپ i در شرایط بدون تنش و Ȳsi: میانگین عملکرد ژنوتیپ i در شرایط تنش می‌باشند. پس از آزمون نرمال بودن خطاها، یکنواختی واریانس‌ها، افزایشی بودن اثر تیمار و محیط و همبستگی بین میانگین‌ها و واریانس‌ها، تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ-های مورد مطالعه در محیط‌های بدون تنش و تنش و همچنین مقایسه میانگین آنها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن[1] با استفاده نرم‌افزار SAS9.2 انجام شد. سپس تجزیه همبستگی بین عملکرد در محیط‌های تنش و بدون تنش و شاخص‌ها، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای به کمک نرم‌افزارهای STATGRAPHICS16 و Minitab16 و ترسیم نمودارهای بای‌پلات توسط نرم‌افزار STATGRAPHICS16 انجام شد.

جدول ۱- ارقام و لاین‌های مطالعه شده در این تحقیق

Table 1. The studied cultivars and lines in this research

شماره	نام	رقم/ لاین	دو ردیفه/ شش ردیفه	شماره	نام	رقم/ لاین	دو ردیفه/ شش ردیفه	شماره	نام	رقم/لاین	دو ردیفه/ شش ردیفه
۱	Behrokh	رقم	دو ردیفه	۸	Nosrat	رقم	شش ردیفه	۱۵	D10	لاین	شش ردیفه
۲	Dasht	رقم	دو ردیفه	۹	Rihan	رقم	شش ردیفه	۱۶	Inc72	لاین	شش ردیفه
۳	Fajre30	رقم	شش ردیفه	۱۰	Rihan03	رقم	شش ردیفه	۱۷	Inc73	لاین	شش ردیفه
۴	Kavir	رقم	شش ردیفه	۱۱	Sahra	رقم	شش ردیفه	۱۸	Inc77	لاین	شش ردیفه
۵	Morocco-9-75	رقم	دو ردیفه	۱۲	Yousef	رقم	شش ردیفه	۱۹	Inc79	لاین	شش ردیفه
۶	Nik	رقم	شش ردیفه	۱۳	Zahak	رقم	شش ردیفه	۲۰	Inc80	لاین	شش ردیفه
۷	Nimrooz	رقم	دو ردیفه	۱۴	Zarjow	رقم	شش ردیفه	۲۱	Inc82	لاین	شش ردیفه

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده در محیط‌های بدون تنش و تنش به ترتیب درسطح ۰/۱٪ و ۱٪ اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۲). در تجزیه واریانس مرکب ۲ محیط اثرات اصلی محیط و ژنوتیپ در سطح ۰/۱٪ معنی‌دار شدند اما اثر ژنوتیپ×محیط معنی‌دار نشد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هرکدام از محیط‌ها به روش دانکن (α=۰/۰۵) نشان داد که بیشترین و کمترین متوسط عملکرد به ترتیب در محیط بدون تنش مربوط به لاین D10 (۸۵۵۳/۳ کیلوگرم در هکتار) و رقم Rihan (۴۰۱۰/۹ کیلوگرم در هکتار) و در محیط تنش مربوط به رقم Rihan03 (۶۰۴۶/۱ کیلوگرم در هکتار) و رقم Rihan (۲۴۲۶/۱ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۳). در محیط بدون تنش پس از لاین D10 ارقام Fajre30، Yousef، Rihan03، Kavir و لاین Inc73 عملکرد بالایی داشتند. اما در محیط تنش پس از رقم Rihan03 ارقام Yousef، Nik، Kavir و لاین Inc73 بیشترین عملکرد را به خود اختصاص دادند. به‌طورکلی تنش خشکی باعث کاهش ۲۶/۶۷ درصدی عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی گردید. به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل، شاخص‌های تحمل به خشکی برای ژنوتیپ‌ها محاسبه شدند (جدول ۴). سپس بر اساس مقدار و نوع شاخص، از بزرگ به کوچک و یا برعکس مرتب شدند به‌طوری‌که رتبه ۱ برای متحمل‌ترین ژنوتیپ و ۲۱ به حساس‌ترین آن‌ها اختصاص داده شد. لازم به ذکر است برای تمام شاخص‌ها به غیر از TOL و Yr رتبه‌بندی از بزرگ به کوچک انجام شد. متوسط رتبه‌های حاصل برای هر ژنوتیپ محاسبه و بر اساس آن رتبه نهایی آنها بدست آمد که در ۲

1-Duncan's Multiple Range Test

ژنوتیپ‌های Rihan، Morocco-9-75 و Sahara حساس ترین آنها شناخته شدند. ژنوتیپ‌هایی که در هر ۲ محیط عملکرد قابل قبولی داشتند شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM بالاتری داشتند. بالا بودن عملکرد در شرایط بدون تنش لزوماً عملکرد بالا در شرایط تنش را نشان نمی‌دهد (۴۸). به همین دلیل ممکن است شاخص‌هایی که در محاسبه آنها فقط از میانگین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش استفاده شده (مثل MP و GMP) نتوانند کاهش عملکرد در شرایط تنش (عدم مقاومت به تنش) را به خاطر بالا بودن عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش به درستی نشان دهند. MP زمانی می‌تواند در انتخاب گروه A ژنوتیپ‌ها به خوبی عمل کند که اختلاف عملکرد ژنوتیپ‌های پرمحصول در شرایط بدون تنش با تنش زیاد نباشد (۲). بنابراین باید به شاخص‌هایی که در محاسبه آن‌ها یا از تفاضل عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش (مثل TOL) و یا در محاسبه آن‌ها از نسبت عملکردها (مثل STI و SSI) استفاده شده نیز توجه نمود. بالا بودن مقدار شاخص TOL کاهش بیشتر عملکرد تحت شرایط تنش خشکی و حساسیت به خشکی بالاتر را نشان می‌دهد (۴۸).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در محیط‌های بدون تنش و تنش

Table 2. Results of grain yield simple analysis of variance of studied genotypes in non-stress and stress environments

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد در شرایط بدون تنش	عملکرد در شرایط تنش
تکرار	۲	۸۵۳۱/۲۲۶^{ns}	۶۰۲۴/۷۴۲^{ns}
ژنوتیپ	۲۰	۲۷۵۲۸/۵۴**	۱۸۸۹۱/۹۹۴**
خطا	۴۰	۶۷۰۴/۱۴۳	۶۹۱۷/۳۹۶
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۰۰۴	۱۹/۳۴۵

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های بدون تنش و تنش به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن (α=۰/۰۵)

Table 3. Comparison of grain yield mean of genotypes in non-stress and stress environments using Duncan's multiple range test (α = 0.05)

نام تیمار/ لاین	عملکرد در شرایط بدون تنش	عملکرد در شرایط تنش	نام تیمار/ لاین	عملکرد در شرایط بدون تنش	عملکرد در شرایط تنش	نام تیمار/ لاین	عملکرد در شرایط بدون تنش	عملکرد در شرایط تنش
Behrokh	۵۵۱۲/۱^{bcde}	۳۸۷۵/۸^{bcd}	Inc79	۶۰۸۲/۴^{bcd}	۴۶۰۸/۵^{abc}	Nosrat	۵۷۰۴/۲^{bcd}	۴۳۰۶/۱^{bc}
D10	۸۵۵۳/۳^{a}	۴۱۵۸/۸^{bc}	Inc80	۵۴۶۱/۲^{bcde}	۳۹۳۱/۵^{bcd}	Rihan	۴۰۱۰/۹^{e}	۲۴۲۶/۱^{d}
Dasht	۴۹۹۱/۵^{cde}	۴۲۱۴/۵^{bc}	Inc82	۵۹۷۳/۹^{bcd}	۳۶۴۰/۶^{bcd}	Rihan03	۶۵۵۷/۰^{bc}	۶۰۴۶/۱^{a}
Fajre30	۶۸۶۵/۵^{b}	۴۷۲۵/۵^{ab}	Kavir	۶۳۲۹/۷^{bc}	۴۹۴۵/۵^{ab}	Sahra	۵۳۵۶/۴^{bcde}	۳۶۹۵/۲^{bcd}
Inc72	۵۴۷۳/۳^{bcde}	۴۵۱۳/۹^{abc}	Morocco-9-75	۴۵۰۲/۴^{de}	۶۸۶۳/۶^{b}	Yousef	۲۹۹۷/۶^{cd}	۵۲۹۷/۰^{ab}
Inc73	۶۲۶۰/۶^{bc}	۴۸۲۴/۲^{ab}	Nik	۶۱۴۹/۷^{bc}	۶۱۷۲/۱^{bc}	Zahak	۵۲۴۷/۳^{ab}	۳۸۰۷/۳^{bcd}
Inc77	۵۰۱۰/۹^{cde}	۴۳۷۰/۳^{bc}	Nimrooz	۵۱۳۴/۵^{cde}	۵۸۱۵/۲^{bc}	Zarjow	۴۱۸۵/۵^{bc}	۴۴۶۹/۷^{abc}

در این جدول: حروف a، b و ... نشان دهنده نتیجه آزمون چند دامنه‌ای دانکن (α=۰/۰۵) می‌باشد. ژنوتیپ‌هایی که حداقل یک حرف مشترک داشته باشند از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند. عملکردها برحسب کیلوگرم در هکتار می‌باشند.

جدول ۴- مقادیر برآورد شده شاخص‌های تحمل به خشکی بر اساس میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در محیط‌های بدون تنش و تنش، میانگین رتبه‌های حاصل از شاخص‌ها و رتبه‌بندی نهایی آنها

Table 4. Estimated values of drought tolerance indices based on the grain yield mean of barley genotypes in non-stress and stress environments, average rankings of indices and their final ranking

ژنوتیپ	*pi*	*si*	MP	TOL	GMP	SSI	STI	YI	YSI	HARM	Yr	متوسط رتبه شاخص‌ها	رتبه نهایی
Behrokh	۵۵۱۲/۱	۳۸۷۵/۸	۴۶۹۳/۹	۱۶۳۶/۴	۴۶۲۲/۱	-۱/۶۰	۰/۶۲۵	۰/۹۰۱	۰/۷۰۳	۴۵۵۱/۳	۰/۲۹۷	۱۵/۵۵۶	۱۵
D10	۸۵۵۳/۳	۴۱۵۸/۸	۶۳۵۶/۱	۷۷۷/۰	۵۹۶۴/۲	-۳/۹۹	۱/۰۴۱	۰/۹۶۷	۰/۴۸۶	۵۵۹۶/۵	۰/۵۱۴	۱۲/۲۲۲	۱۲
Dasht	۴۹۹۱/۵	۴۲۱۴/۵	۴۶۰۳/۰	۷۷۷/۰	۴۵۸۶/۶	-۰/۷	۰/۶۱۵	۰/۹۸۰	۰/۸۴۴	۴۵۷۰/۲	۰/۱۵۶	۱۰/۷۷۸	۱۰
Fajre30	۶۸۶۵/۵	۴۷۲۵/۵	۵۷۹۵/۵	۲۱۴۰/۰	۵۶۹۵/۸	-۱/۷۱	۰/۹۴۹	۱/۰۹۹	۰/۶۸۸	۵۵۹۷/۹	۰/۳۱۲	۹/۷۷۸	۹
Inc72	۵۴۷۳/۳	۴۵۱۳/۹	۴۹۹۳/۶	۹۵۹/۴	۴۹۷۰/۵	-۰/۸	۰/۷۲۳	۱/۰۵۰	۰/۸۲۵	۴۹۴۷/۶	۰/۱۷۵	۷/۷۷۸	۵
Inc73	۶۲۶۰/۶	۴۸۲۴/۲	۵۵۴۲/۴	۱۴۳۶/۴	۵۴۹۵/۷	-۱/۱۳	۰/۸۸۴	۱/۱۲۲	۰/۷۷۱	۵۴۴۹/۴	۰/۲۲۹	۷/۷۷۸	۵
Inc77	۵۰۱۰/۹	۴۳۷۰/۳	۴۶۹۰/۶	۶۴۰/۶	۴۶۷۹/۷	-۰/۵۵	۰/۶۴۱	۱/۰۱۶	۰/۸۷۲	۴۶۶۸/۷	۰/۱۲۸	۸/۱۱۱	۶
Inc79	۶۰۸۲/۴	۴۶۰۸/۵	۵۳۴۵/۵	۱۴۷۳/۹	۵۲۹۴/۴	-۱/۲۱	۰/۸۲۰	۱/۰۷۲	۰/۷۵۸	۵۲۴۳/۸	۰/۲۴۲	۹/۲۲۲	۸
Inc80	۵۴۶۱/۲	۳۹۳۱/۵	۴۶۹۶/۴	۱۵۲۹/۷	۴۶۳۳/۷	-۱/۴۷	۰/۶۲۸	۰/۹۱۴	۰/۷۲۰	۴۵۷۱/۸	۰/۲۸۰	۱۴/۲۲۲	۱۳
Inc82	۵۹۷۳/۹	۳۶۴۰/۶	۴۸۰۷/۳	۲۳۳۳/۳	۴۶۶۳/۶	-۲/۴۲	۰/۶۳۶	۰/۸۴۷	۰/۶۰۹	۴۵۲۴/۱	۰/۳۹۱	۱۷/۱۱۱	۱۶
Kavir	۶۳۲۹/۷	۴۹۴۵/۵	۵۶۳۷/۶	۱۳۸۴/۲	۵۵۹۴/۹	-۱/۰۶	۰/۹۱۶	۱/۱۵۰	۰/۷۸۱	۵۵۵۲/۶	۰/۲۱۹	۶/۳۳۳	۴
Morocco-9-75	۴۵۰۲/۴	۲۹۹۷/۶	۳۷۵۰/۰	۱۵۰۴/۸	۳۶۷۳/۷	-۱/۹	۰/۳۹۵	۰/۶۹۷	۰/۶۶۶	۳۵۹۹/۰	۰/۳۳۴	۱۸/۱۱۱	۱۸
Nik	۶۱۴۹/۷	۵۲۴۷/۳	۵۶۹۸/۵	۹۰۲/۴	۵۶۸۰/۶	-۰/۶۵	۰/۹۴۴	۱/۲۲۰	۰/۸۵۳	۵۶۶۲/۸	۰/۱۴۷	۳/۷۷۸	۲
Nimrooz	۵۱۳۴/۵	۴۱۸۵/۵	۴۶۶۰/۰	۹۴۹/۱	۴۶۳۵/۸	-۰/۸۶	۰/۶۲۹	۰/۹۷۴	۰/۸۱۵	۴۶۱۱/۷	۰/۱۸۵	۱۰/۷۷۸	۱۰
Nosrat	۵۷۰۴/۲	۴۳۰۶/۱	۵۰۰۵/۲	۱۳۹۸/۲	۴۹۶/۱	-۱/۲۳	۰/۷۱۹	۱/۰۰۲	۰/۷۵۵	۴۹۰۷/۵	۰/۲۴۵	۱۱/۰۰۰	۱۱
Rihan	۴۰۱۰/۹	۲۴۲۶/۱	۳۲۱۸/۵	۱۵۸۴/۸	۳۱۱۹/۴	-۲/۴۷	۰/۲۸۵	۰/۵۶۴	۰/۶۰۵	۳۰۲۳/۴	۰/۳۹۵	۲۰/۰۰۰	۱۹
Rihan03	۶۵۵۷/۰	۶۰۴۶/۱	۶۳۰۱/۵	۵۱۰/۹	۶۲۹۶/۳	-۰/۳۲	۱/۱۶۰	۱/۴۰۶	۰/۹۲۲	۶۲۹۱/۲	۰/۰۷۸	۱/۱۱۱	۱
Sahra	۵۳۵۶/۴	۳۶۹۵/۲	۴۵۲۵/۸	۱۶۶۱/۲	۴۴۴۸/۹	-۱/۷	۰/۵۷۹	۰/۸۵۹	۰/۶۹۰	۴۳۷۳/۳	۰/۳۱۰	۱۷/۳۳۳	۱۷
Yousef	۶۸۶۳/۶	۵۲۹۷/۰	۶۰۸۰/۳	۱۵۶۶/۷	۶۰۲۹/۶	-۱/۱۲	۱/۰۶۴	۱/۲۳۲	۰/۷۷۲	۵۹۷۹/۴	۰/۲۲۸	۵/۴۴۴	۳
Zahak	۶۱۷۲/۱	۳۸۰۷/۳	۴۹۸۹/۷	۲۳۶۴/۸	۴۸۴۷/۶	-۲/۳۵	۰/۶۸۷	۰/۸۸۶	۰/۶۱۷	۴۷۰۹/۵	۰/۳۸۳	۱۵/۴۴۴	۱۴
Zarjow	۵۸۱۵/۲	۴۴۶۹/۷	۵۱۴۲/۴	۱۳۴۵/۵	۵۰۹۸/۲	-۱/۱۴	۰/۷۶۰	۱/۰۴۰	۰/۷۶۹	۵۰۵۴/۴	۰/۲۳۱	۹/۱۱۱	۷

در این جدول: pi: میانگین عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتار هر رقم در شرایط بدون تنش، si: میانگین عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتار هر رقم در شرایط تنش ، MP: شاخص میانگین بهره‌وری، TOL: شاخص تحمل، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، HARM: شاخص میانگین‌هارمونیک بهره‌وری و Yr: شاخص نرخ کاهش عملکرد می‌باشند.

برای درک بهتر روند تغییرات شاخص‌ها از محاسبه ضریب همبستگی پیرسون[1] بین شاخص‌ها و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش ژنوتیپ‌ها استفاده شد (جدول ۵). نتایج این جدول نشان داد ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار بالایی در سطح ۰/۱٪ بین شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش وجود دارد. براساس نظر بلام (۷) بهترین شاخص آن است که در هر دو شرایط نرمال و تنش دارای همبستگی معنی‌داری با عملکرد باشد. بنابراین بر اساس تجزیه همبستگی این شاخص‌ها به عنوان شاخص‌های برتر جهت انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول در محیط‌های بدون تنش و تنش شناخته شدند. لازم به ذکر است شاخص‌های مذکور هبستگی مثبت و معنی‌دار بالایی با یکدیگر نیز داشتند. حسینی (۲۵) نتیجه گرفت در گیاه کلزا شاخص‌های میانگین بهره‌وری (GMP)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP) و شاخص میانگین هارمونیک (HAM) بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش دارند. نقوی و همکاران (۳۱) علاوه بر این سه شاخص، شاخص تحمل تنش (STI) را نیز برای انتخاب ارقام گندم بهاره در شرایط تنش و بدون تنش خشکی مناسب معرفی کردند. ضرایب همبستگی شاخص YI با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش به ترتیب برابر با ۰/۵۷ (معنی‌دار در سطح ۱٪) و ۱/۰۰ محاسبه شد. در تفسیر نتایج باید به این نکته توجه کرد که در محاسبه YI فقط از عملکرد تحت شرایط تنش استفاده می‌شود. در نتیجه چون عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تنش بر متوسط عملکرد آن‌ها در این محیط (مقدار ثابت) تقسیم می‌شود ضریب همبستگی ۱/۰۰ بدست آمده که قطعاً معنی‌دار می‌باشد. شاخص TOL فقط با عملکرد در شرایط بدون تنش همبستگی (۰/۶۱) مثبت و معنی‌داری در سطح ۱٪ و در شرایط تنش همبستگی منفی و غیرمعنی‌داری داشت (۰/۳-). نتیجه بررسی شاخص TOL با نتایج زر (۵۲) در گیاه جو و طالبی و همکاران (۴۸) در گیاه گندم دوروم هم‌خوانی داشت. نتایج مذکور نشان داد که انتخاب براساس شاخص TOL منجر به کاهش عملکرد تحت شرایط بدون تنش می‌گردد. اما شاخص‌های SSI، YSI و Yr همبستگی معنی‌داری را فقط با عملکرد در شرایط تنش در سطح ۱٪ به ترتیب با مقادیر ۰/۵۸، ۰/۶۵ و ۰/۶۵- نشان دادند. از آنجا که این شاخص‌ها نمی‌توانند گروه A در تقسیم‌بندی فرناندز را شناسایی نمایند، لذا شاخص‌های مناسبی برای انتخاب در هر ۲ محیط محسوب نمی‌شوند. ضرایب همبستگی YSI و Yr از لحاظ مقدار باهم برابر بوده اما در جهت مخالف یکدیگر می‌باشند. MP، GMP، STI، YI و HARM دو به دو با هم همبستگی مثبت، بالا و معنی‌داری در سطح ۰/۱٪ دارند. TOL با SSI و YSI همبستگی بالا و منفی و با Yr همبستگی بالا، مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۱٪ نشان داد. SSI علاوه بر همبستگی منفی با TOL با Yr همبستگی منفی بالا و معنی‌داری در سطح ۰/۱٪ و با YI و YSI همبستگی‌های مثبت متوسط و بالا و معنی‌داری به ترتیب در سطوح ۰/۱٪ و ۱٪ داشت. محققین زیادی با مطالعه بر روی گیاهان جو (۴۴،۴۰،۳۹،۴۳)، گندم (۲۴،۴۸) *تریتیپیروم* (۳) و کنجد (۳۲) بیان داشتند که همبستگی مثبت و معنی‌دار بین Yp و Ys با شاخص‌های MP، GMP و STI نشان می‌دهد که این شاخص‌ها برای شناسایی ارقام با عملکرد بالا تحت شرایط مختلف رطوبتی نسبت به شاخص‌های دیگر مؤثرتر می‌باشند. بنابراین انتخاب بر اساس شاخص‌های اخیر شانس موفقیت در بهبود عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش را افزایش می‌دهد. شرفی و همکاران (۴۰) و زر (۵۲) با مطالعه بر روی گیاه جو، علاوه بر ۳ شاخص مؤثر قبلی، شاخص HARM را نیز به‌عنوان یکی دیگر از شاخص‌های برتر معرفی کردند. طاهری‌پورفرد و همکاران (۴۶) با مطالعه بر روی گیاه جو بیان کردند شاخص‌های STI، MP، HARM، YI و GMP نسبت به شاخص‌های SSI، YSI و TOL معیار بهتری را برای گزینش عملکرد دانه و وزن خشک کل بوته فراهم می‌آورند. سی و سه مرده و همکاران (۴۲) با مطالعه بر روی ۱۱ رقم گندم نان برای شناسایی ارقام پرمحصول در شرایط تنش و آبیاری نشان دادند که تحت شرایط تنش متوسط شاخص‌های MP، GMP و STI نسبت به سایر شاخص‌ها مؤثرتر بوده و تحت شرایط تنش خشکی شدید، ضریب رگرسیون (b) و شاخص SSI برای تشخیص واریته‌های مقاوم کارآمدتر می‌باشند. فرناندز (۱۵) و بخشایشی قشلاق و شکارچی‌زاده (۶) شاخص STI را مناسب‌ترین شاخص برای غربال‌سازی معرفی کردند. رحیمی و همکاران (۳۳) با مطالعه بر روی ۱۵۰ لاین F5 برنج نیز ۴ شاخص STI، MP، GMP و HA (میانگین هارمونیک) را برای انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول مناسب دانستند. سبحانی و همکاران (۴۵) نتیجه گرفتند که شاخص‌های TOL و SSI نشان دهنده حساسیت به خشکی بیشتر ارقام می‌باشند. آکسورا و سری (۲) با آزمایش ۱۴ ژنوتیپ یولاف شاخص‌های تحمل به خشکی را تحت شرایط محیطی مختلف (آبیاری و بارندگی) مورد ارزیابی قرار داده و بر اساس تجزیه بای‌پلات و همبستگی درونی معنی‌دار آنها با یکدیگر، شاخص‌ها را به ۴ گروه تقسیم کردند که هر گروه منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های مجزایی با واکنش متفاوت به شرایط محیطی شد.

1- Pearson Correlation Coefficient

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های تحمل در ژنوتیپ‌های جو
Table 5. Correlation coefficients between yield in stress and non-stress conditions with tolerance indices in barley genotypes

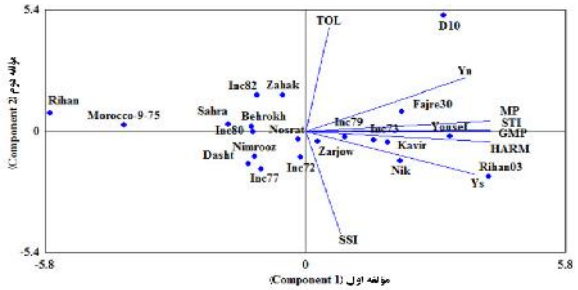
	Yr	HARM	YSI	YI	STI	SSI	GMP	TOL	MP	*si*	*pi*
pi	۱/۰۰										
si	۰/۵۷**									۱/۰۰	
MP	۰/۹۱***								۱/۰۰	۰/۸۶***	
TOL	۰/۶۱**							۱/۰۰	۰/۲۳^{ns}	-۰/۳۰^{ns}	
GMP	۰/۸۶***						۱/۰۰	۰/۱۲^{ns}	۰/۹۹***	۰/۹۱***	
SSI	-۰/۳۲^{ns}					۱/۰۰	۰/۲۰^{ns}	-۰/۹۴***	۰/۰۹^{ns}	۰/۵۸**	
STI	۰/۸۶***				۱/۰۰	۰/۱۷^{ns}	۰/۹۹***	۰/۱۳^{ns}	۰/۹۹***	۰/۹۰***	
YI	۰/۵۷**			۱/۰۰	۰/۹۰***	۰/۵۸**	۰/۹۱***	-۰/۳۰^{ns}	۰/۸۶***	۱/۰۰***	
YSI	-۰/۲۳^{ns}		۱/۰۰	۰/۶۵**	۰/۲۷^{ns}	۰/۹۸***	۰/۲۹^{ns}	-۰/۹۰***	۰/۱۹^{ns}	۰/۶۵**	
HARM	۰/۸۱***	۱/۰۰	-۰/۳۸*	۰/۹۵***	۰/۹۹***	۰/۲۹^{ns}	۰/۹۹***	۰/۰۳^{ns}	۰/۹۸***	۰/۹۵***	
Yr	۰/۲۳^{ns}	-۰/۳۸*	-۱/۰۰***	-۰/۶۵**	-۰/۲۷^{ns}	-۰/۹۸***	-۰/۲۹^{ns}	۰/۹۰***	-۰/۱۹^{ns}	-۰/۶۵**	۱/۰۰

در این جدول *، **، *** و ns : به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی پیرسون در سطح آماری ۵٪، ۱٪، ۰/۱٪ و غیرمعنی‌دار بودن آن از لحاظ آماری می‌باشند.

پس از انتخاب شاخص‌های مؤثر MP، GMP، STI و HARM و تقریباً مؤثر TOL (شاخصی که فقط با عملکرد در شرایط بدون تنش همبستگی داشت) و SSI (شاخصی که فقط با عملکرد در شرایط تنش همبستگی داشت) در شناسایی ارقام پرمحصول در محیط‌های بدون تنش و تنش، برای بررسی رابطه بین آنها با عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف از نمودار بای‌پلات استفاده شد. از شاخص‌های YI، YSI و Yr در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای‌پلات استفاده نشد. بدین منظور ابتدا تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر مبنای شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش برای ۲۱ ژنوتیپ جو انجام شد (جدول ۶). بای‌پلات مربوطه که بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم رسم گردید، ۹۹/۶۸ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه می‌کرد (شکل ۱). در فضای بای‌پلات ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مشخصی که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل آن‌ها به کمبود آب بود، قرار گرفتند. شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM براساس شکل ۱ همانند نتیجه حاصل از تجزیه همبستگی با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش همبستگی بالایی نشان دادند. جدول ۶ نشان می‌دهد که ۶۹/۹۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها مربوط به مولفهٔ اول است که دارای همبستگی مثبت و بالایی با Yp، Ys، MP، GMP، HARM و STI و همبستگی ضعیفی با SSI و TOL می‌باشد. بنابراین به نام مؤلفه پتانسیل و پایداری عملکرد و تحمل به خشکی نام‌گذاری گردید. نتیجه حاصل با نتایج طالبی و همکاران (۴۸) و رحیمی و همکاران (۳۵) مطابقت دارد. در نتیجه می توان از روی بای‌پلات حاصله با توجه به مقادیر بالای این مؤلفه ارقام متحمل به خشکی با عملکرد بالا را انتخاب کرد. بر این اساس ژنوتیپ‌های Rihan03، Yousef، Nik، Fajre30، Kavir و Inc73 متحمل و ژنوتیپ‌های Rihan، Morrocco-9-75 و Sahra حساس به خشکی شناخته شدند. دومین مؤلفه که ۲۹/۷۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه می‌کند، با شاخص‌های TOL همبستگی منفی و بالا و با SSI همبستگی مثبت و بالایی نشان داد. این مؤلفه می‌تواند به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش شناخته شده و ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در شرایط خشکی و عملکرد بالا در شرایط بدون تنش را از یکدیگر جدا نمایید. D10 نیز به عنوان ژنوتیپی که بالاترین عملکرد در شرایط بدون تنش را داشت، شناسایی گردید.

جدول ۶- مقادیر ویژه، درصد سهم تجمعی واریانس شاخص‌های تحمل و عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش در ژنوتیپ‌های جو
Table 6. Eigenvalues, the percentage of cumulative variance of tolerance indices and yield under non-stress and stress in barley genotypes

مؤلفه	مقادیر ویژه	درصد سهم تجمعی واریانس	Yn	Ys	MP	GMP	HARM	STI	TOL	SSI
۱	۵/۵۹۳	۶۹/۹۱	۰/۸۶۶	۰/۹۰۷	۰/۹۹۵	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۳	۰/۹۹۶	۰/۱۳۴	۰/۱۸۵
۲	۲/۳۸۲	۹۹/۶۸	۰/۴۹۹۱۹	-۰/۴۲۰۶۳	۰/۰۹۲۸۱	-۰/۰۱۱	-۰/۱۱۰	۰/۰۰۶	۰/۹۸۹	-۰/۹۷۸

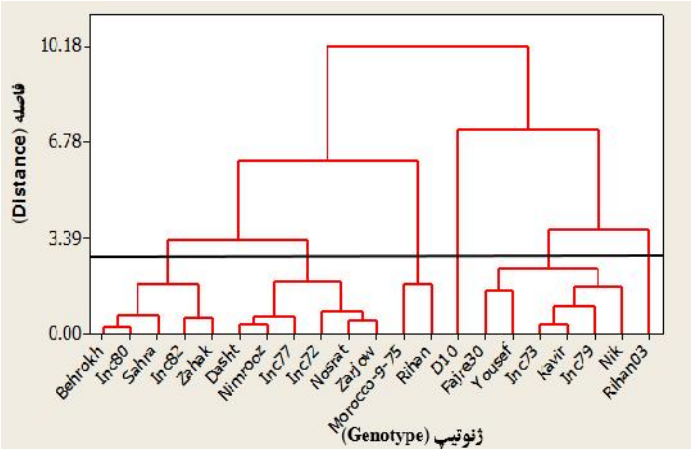


شکل ۱- نمایش بای‌پلات ژنوتیپ‌های جو در ۶ شاخص تحمل به خشکی به همراه عملکرد در محیط‌های بدون تنش و تنش بر اساس ۲ مؤلفه اول و دوم

Figure 1. Barley genotypes biplot display in 6 drought tolerance indices with yield in non-stress and stress environments base on first and second components

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس ۶ شاخص MP، GMP، HARM، STI، TOL و SSI به همراه عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) با روش لینکاژ کامل[1] و معیار فاصله اقلیدسی[2] پس از استاندارد شدن داده‌ها انجام شد (شکل ۲). با توجه به دندروگرام، محلی که در آن نقطه، بیشترین تمایز بین گروه‌ها مشاهده شد، به‌عنوان بهترین محل برش انتخاب و ژنوتیپ‌ها در ۶ گروه قرار گرفتند. برای انتخاب محل برش از تجزیه واریانس چند متغیره استفاده شد. ابتدا گروهی که شامل یک فرد بود حذف شد، سپس بقیه گروه‌ها آزمون شدند. معنی‌دار بودن چهار آماره مربوط به اثر پیلایی[3]، اثر لاولی- هتلینگ[4]، بزرگ‌ترین ریشه روی[5] و لامبدای ویلکس[6]، گروه‌بندی را تأیید کردند. بنابراین خط برش در ناحیه‌ای که ژنوتیپ‌ها را به ۵ گروه تقسیم می‌کرد، ترسیم شد و با احتساب گروه حذف شده جمعاً ۶ گروه در نظر گرفته شد. ژنوتیپ‌های Behrokh، Inc80، Sahra، Inc82 و Zahak که عملکرد خوبی در محیط بدون تنش داشتند و به تنش خشکی نسبتاً حساس بودند در گروه اول قرار گرفتند. Dasht، Nimrooz، Inc77، Inc72، Nosrat و Zarjow که عملکرد متوسطی در محیط بدون تنش داشته و از تحمل به خشکی متوسط برخوردار بودند، در گروه دوم قرار گرفتند. در گروه سوم، دو رقم حساس به خشکی Morocco-9-75 و Rihan که عملکرد پایینی داشتند، قرار گرفتند. لاین D10 که بالاترین عملکرد را در شرایط بدون تنش داشت و دارای تحمل به خشکی متوسط بود، در گروه چهارم قرار گرفت. این لاین احتمالاً پتانسیل تبدیل به یک رقم تجاری مناسب در شرایط آب و هوایی کرج را دارد. در گروه پنجم ژنوتیپ‌های (Fajre30، Yousef، Ince73، Kavir، Inc79، Nik) که در محیط بدون تنش عملکرد خوبی داشتند و به تنش خشکی مقاوم بودند قرار گرفتند. در گروه ششم رقم Rihan03 که عملکرد خوبی در شرایط بدون تنش داشت و بسیار متحمل به تنش خشکی بود قرار گرفت (با کمترین کاهش عملکرد در شرایط تنش به میزان ۷/۷۹٪). این رقم پایداری عملکرد بسیار خوبی در هر ۲ محیط داشت. با توجه به حداکثر فاصله ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های گروه‌های ششم با گروه‌های اول، دوم و سوم از نظر عملکرد و نیز تحمل به تنش می‌توان برای تجزیه ژنتیکی شاخص‌های تحمل به خشکی و نیز عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش از دورگ‌گیری بین آن‌ها استفاده کرد. لازم به ذکر است که گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها توسط تجزیه کلاستر بوسیله تجزیه تابع تشخیص مورد تأیید قرار گرفت.

1-Complete linkage 2- Euclidean distance 3- Pillai's trace 4- Lawley-Hotelling Trace
5- Roy's Largest Root 6- Wilks' Lambda



شکل ۲- دندروگرام حاصل از گروه‌بندی ژنوتیپ‌های جو براساس ۶ شاخص MP، GMP، HARM، STI، TOL و SSI و عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) با روش لینکاژ کامل و معیار فاصله اقلیدسی

Figure 2. Barley genotypes dendrogram of classification based on six indices MP, GMP, HARM, STI, TOL and SSI and yield under non-stress (Yp) and stress (Ys) with complete linkage and Euclidean distance criterion

در این پژوهش براساس نتایج تجزیه همبستگی، مؤلفه‌های اصلی و بای‌پلات، شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM به‌عنوان شاخص‌های مناسبی برای تفکیک ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس از یکدیگر شناخته شدند. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها به کمک شاخص‌های تنش با روش‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، بای پلات و کلاستر نشان داد که ژنوتیپ Rihan03 بالاترین تحمل به خشکی را دارد و بعد از آن ژنوتیپ‌های Yousef و Fajre30 تحمل به خشکی آخرفصل بهتری را دارا بودند. لاین D10 نیز به دلیل عملکرد بسیار خوب در شرایط بدون تنش و متوسط در شرایط تنش احتمالاً پتانسیل تبدیل به یک رقم تجاری برای کاشت در منطقه کرج را دارد. برای اطمینان بیشتر در این مورد، نیاز به تکرار آزمایش می‌باشد. ارقام Nik و Kavir و لاین‌های Inc73 و Inc79 نیز تحمل خوبی نشان دادند. ارقام Rihan، Morocco-9-75 (رقم شاخص حساسیت به تنش خشکی) و Sahra و لاین Inc82 به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس در تنش آخر فصل شناخته شدند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و مؤسسه تحقیقات نهال و بذر به خاطر تهیه و ارسال ژنوتیپ‌های جو تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Agrawala, S., M. Barlow, H. Cullen and B. Lyon. 2001. The drought and humanitarian crisis in central and southwest Asia : a climate perspective. International Research Institute for Climate Prediction, IRI Special Report, 20: 1-11.
2. Akçura, M. and S. Çeri. 2011. Evaluation of drought tolerance indices for selection of Turkish oat (*Avena sativa* L.) landraces under various environmental conditions. Žemdirbystė=Agriculture, 98: 157-166.
3. Allahdou, M. 2012. Evaluation of resistance to drought in *tritipyrum* lines using drought tolerance indices. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3: 461-465.
4. Amini, R. 2013. Drought stress tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.) affected by priming with PEG. International Journal of Farming and Allied Sciences, 2: 803-808.
5. Ashraf, M. 2010. Inducing drought tolerance in plants: recent advances. Biotechnology Advances, 28: 169-183.
6. Bakhshayeshi Geshlagh, M. and M. Shekarchezade. 2015. Evaluation of genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum*) using drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 7: 49-59 (In Persian).
7. Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. 1th edn. CRC Press, Boca Raton, Boca Raton, Fla, 223 pp.
8. Blum, A. 2011. Plant breeding for water-limited enviroments. 1th edn. Springer, USA, 255 pp.
9. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
10. Cattivelli, L., F. Rizza, F.W. Badeck, E. Mazzucotelli, A.M. Mastrangelo, E. Francia, C. Marè, A. Tondelli and A.M. Stanca. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research, 105: 1-14.

11. Ellis, R.P., B.P. Forster, D. Robinson, L.L. Handley, D.C. Gordon, J.R. Russell and W. Powell. 2000. Wild barley: a source of genes for crop improvement in the 21st century? Journal of Experimental Botany, 51: 9-17.
12. El Rabey, H.A., J.A. Khan, K.O. Abulnaja and A.L. Al-Malki. 2012. Molecular characterization of barley (*Hordeum vulgare* L.) genome for drought tolerant cultivars selection. African Journal of Biotechnology, 11: 9527-9533.
13. Food and Agriculater Organization. 2014. FAO 2014 [WWW document]. http://faostat3.fao.org.
14. Food and Agriculater Organization and National Drought Mitigation Center. 2008. A review of drought occurrence and monitoring and planning activities in the Near East region, FAO, 1-56. http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/516/course/section/175.
15. Fernandez, G. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, pp: 257-270.
16. Fernandez, G. 2010. Statistical data mining using SAS applications data. 2th edn. CRC Press of Taylor and Francis Group, LLC,USA, 442 pp.
17. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.
18. Fleury, D., S. Jefferies, H. Kuchel and P. Langridge. 2010. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. Journal of Experimental Botany, 61: 11-22.
19. Forster, B.P., R.P. Ellis, W.T.B. Thomas, A.C. Newton, R. Tuberosa, D. This, R.A. El-Enein, M.H. Bahri and M. Ben Salem. 2000. The development and application of molecular markers for abiotic stress tolerance in barley. Journal of Experimental Botany, 51: 19-27.
20. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campanile, 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 Araghi, S. and M.T. Assad. 1998. Evaluation of four screenig techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. Euphytica, 103: 293-299.
22. Guo, P., M. Baum, S. Grando, S. Ceccarelli, G. Bai, R. Li, M. von Korff, R.K. Varshney, A. Graner and J. Valkoun. 2009. Differentially expressed genes between drought-tolerant and drought-sensitive barley genotypes in response to drought stress during the reproductive stage. Journal of experimental botany, 60: 3531-3544.
23. Haddadin, M.F. 2015. Assessment of drought tolerant barley varieties under water stress. International Journal of Agriculture and Forestry, 5: 131-137.
24. Hayes, P.M., A. Castro, L. Marquez-Cedillo, A. Corey, C. Henson, B.L. Jones, J. Kling, D. Mather, I. Matus, C. Rossi and K. Sato. 2003. Genetic diversity for quantitatively inherited agronomic and malting quality traits. In book "Diversity in barley (*Hordeum vulgare*)" chapter 10, Elsevier, Netherlands, 201-226.
25. Hosseini, S.Z. 2016. Evaluation of drought tolerance in canola (*Brassica napus* L.) genotypes, using biplot analysis. Journal of Crop Breeding, 8: 192-202 (In Persian).
26. Khan, M.I., G. Shabbir, Z. Akram, M.K.N. Shah, M. Ansar, N.M. Cheema and M.S. Iqbal. 2013. Character association studies of seedling triats in different wheat genotypes under moisture stress conditions. SABRAO Journal of Breeding and Genetics, 45: 458-467.
27. Kilic, H., T. Akar, E. Kendal and I. Sayim. 2010. Evaluation of grain yield and quality of barley varieties under rainfed conditions. African Journal of Biotechnology, 9: 7825-7830.
28. Kumar, M., S.R. Vishwakarma, B. Bhushan and A. Kumar. 2013. Estimation of genetic parameters and character association in barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Wheat Research, 5: 76-78.
29. Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. Current Science, 80: 758-763.
30. Mollasadeghi, V., A.G. Eshghi, R. Shahryari and S. Elyasi. 2013. Evaluation of tolerant and susceptible bread wheat genotypes under drought stress conditions. International Journal of Farming and Allied Sciences, 2: 1159-1164.
31. Naghavi, M. R., M. Moghaddam, M. Toorchi and M. R. Shakiba. 2016. Evaluation of spring wheat cultivars based on drought resistance indices. Journal of Crop Breeding, 8: 192-207 (In Persian).
32. Poor-Esmaeil, H.A., H.R. Fanaei and M.H. Saberi. 2014. Evaluation of drought tolerant cultivars and lines of sesame using stress tolerance indices. Scientific Journal of Crop Science, 3: 66-70.
33. Rahimi, M., H. Dehghani, B. Rabiei and A.R. Tarang. 2013. Evaluation of rice segregating population based on drought tolerance criteria and biplot analysis. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5: 194-199.
34. Raman, A., S. Verulkar, N. Mandal, M. Variar, V. Shukla, J. Dwivedi, B. Singh, O. Singh, P. Swain, A. Mall, S. Robin, R. Chandrababu, A. Jain, T. Ram, S. Hittalmani, S. Haefele, H. Piepho and A. Kumar. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. Rice, 5: 1-12.
35. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science, 21: 943-946.
36. Saeidi, M., M. Abdoli, M. Azhand and M. Khas-Amiri. 2013. Evaluation of drought resistance of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars using agronomic characteristics and drought tolerance indices. Albanian Journal of Agricultural Sciences, 12: 545-554.
37. Saini, H.S. and M.E. Westgate. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. Advances in Agronomy, 68: 59-96.
38. Schneider, K.A., R. Rosales-Serna, F. Ibarra-Perez, B. Cazares-Enriquez, J.A. Acosta-Gallegos, P. Ramirez-Vallejo, N. Wassimi and J.D. Kelly. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science, 37: 43-50.

39. Shanker, A.K., M. Maheswari, S.K. Yadav, S. Desai, D. Bhanu, N.B. Attal and B. Venkateswarlu. 2014. Drought stress responses in crops. Functional & integrative genomics, 14: 11-22.
40. Sharafi, S., K. Ghassemi-Golezani, S. Mohammadi, S. Lak and B. Sorkhy. 2014. Evaluation of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) by drought tolerance indices and multivariate analysis. International Journal of Biociences, 4: 117-129.
41. Sharafi, S., K. Ghassemi-Golezani, S. Mohammadi, S. Lak and B. Sorkhy. 2011. Evaluation of drought tolerance and yield potential in winter barley (*Hordeum vulgare*) genotypes. Journal of Food, Agriculture & Environment, 9: 419-422.
42. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research, 98: 222-229.
43. Soleimani, A., A. Ahmadikhah and S. Soleimani. 2009. Performance of different greenhouse cucumber cultivars (*Cucumis sativus* L.) in southern Iran. African Journal of Biotechnology, 8: 4077-4083.
44. Soleymani, A. and M.H. Shahrajabian. 2013. Evaluation drought tolerance indices on the basis of physiological characteristics for different genotypes of barley in Esfahan region. International Journal of Farming and Allied Sciences, 2: 533-536.
45. Subhani, G.M., M. Abdullah, J. Ahmad, J. Anwar, M. Hussain and A. Mahmood. 2015. Identification of drought tolerant genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) through stress tolerance indices. Journal of Animal and Plant Sciences, 25: 686-692.
46. Taheripoorfard, Z.S., H. Ghazvini, M. Abrahimi and S.M.M. Mortazaviyan. 2015. Investigation of late season drought tolerance in promising barley genotypes using sensitive and tolerance stress indices. Journal of Applied Crop Breeding, 3: 39-55 (In Persian).
47. Takeda, S. and M. Matsuoka. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. Nature Reviews Genetics, 9: 444-457.
48. Talebi, R., F. Fayaz and A.M. Naji. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). General and Applied Plant Physiology, 35: 64-74.
49. Tuberosa, R. 2012. Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. In: Monneveux, P., J.M. Rabaut and A. Okono (eds.) Drought phenotyping in crops: from theory to practice. Frontiers in Physiology, 3: 8-33.
50. Voltas, J., H. López-Córcoles and G. Borrás. 2005. Use of biplot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multi-environment trials. European Journal of Agronomy, 22: 309-324.
51. Zadoks, J.C., T.T. Chang and C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, 14: 415-421.
52. Zare, M. 2012. Evaluation of drought tolerance indices for the selection of Iranian barley (*Hordeum vulgare*) cultivars. African Journal of Biotechnology, 11: 15975–15981.
53. Zebarjadi, A.R., Z. Chaghakaboodi and D. Kahrizi. 2011. Evaluation of rapeseed genotypes (*Brassica napus* L.) under drought stress conditions. Researches of The First International Conference Babylon and Razi Universities, 201-204.

Evaluation of Late Season Drought in Barley Genotypes using some Drought Tolerance Indices

Amanollah Soleimani[1], Mohammad Reza Bihamta[2], Seyed Ali Peyghambari[3] and RezaMaali-Amiri[4]

1, 3 and 4- PhD Student, Professor and Associate Professor , College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University
2- Professor, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University
(Corresponding author: mrghanad@ut.ac.ir)
Received: May 31, 2016 Accepted: September 5, 2016

Abstract

Drought is one of the major environmental limiting factors in the global agriculture. Exploiting of crop yield potential and increasing yield stability of them in drought and drought-prone regions can be guaranteed to feed the world's growing population. For this purpose, in order to assess the late season drought tolerance genotypes and determining of tolerant them using stress tolerance indices, 21 genotypes of barley in a Randomized Complete Block Design with three replications in two environments (stress and non-stress) in crop year 2014-2015 at the Agricultural Faculty of Tehran University in Karaj were tested. For stress creation, irrigation at first spikelet of inflorescence visible (Zadoks scale, code 50) was stopped. Genotypes yields in non-stress (Yp) and stress (Ys) measured and analysis of variance was performed on them. MP, GMP, STI and HARM indices which showed the highest correlation with yield in stress and non-stress conditions were introduced as superior indices for screening genotypes. The results of principle components analysis and biplot diagram showed that Rihan03, Yousef and Fajre30 had the highest, Rihan, Morocco-9-75 (susceptible control) and Sahra had the lowest drought tolerance genotypes respectively and D10 line had the highest yield in non-stress and was relatively tolerant. Cluster analysis based on MP, GMP, HARM, STI, TOL and SSI indices and yield under stress and non-stress conditions classified genotypes in six clusters. Most drought tolerant genotypes with high yield that their yield difference between stress and non-stress conditions was lower than the other genotypes, were located in sixth, fifth and fourth clusters and sensitive genotypes were located in first and third clusters. Based on the obtained results, Rihan03, Yousef and Fajre30 genotypes were late season drought tolerant, Nik, Kavir, Inc73 and Inc79 genotypes were relatively drought tolerant and Rihan, Morocco-9-75 (susceptible control), Sahra and Inc82 genotypes were identified as sensitive. Probably, D10 Line is also due to a very good yield in non-stress and medium in stress conditions has the potential to become a good commercial variety.

Keywords: Barley, Drought stress, Drought tolerance indices, Grain yield