



بررسی تحمل و پایداری ژنوتیپ های تربیتکاله تحت تنش خشکی و شرایط محیطی تغییر یافته

حسن بصیری^۱، امید علیزاده^۲، فرود بذرافشان^۳، مهدی زارع^۴، محمد یزدانی^۵

دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۱۲

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر روی ژنوتیپ‌های تربیتکاله و انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب در شرایط تنش برای برنامه‌های به‌نژادی، یک مطالعه دو ساله با چهار رژیم آبیاری (آبیاری نرمال و قطع آبیاری در سه مرحله گلدهی، دانه‌شیری و پر شدن دانه) و نه ژنوتیپ تربیتکاله در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه پژوهش مرکز تحقیقات داراب انجام شد. عملکرد دانه ژنوتیپ‌های تربیتکاله در تمامی تیمارها اندازه‌گیری شد و برای برآورد تحمل و پایداری ژنوتیپ‌ها از روش‌های مختلف بیومتریک و محاسبه شاخص‌های تنش شامل شاخص نسبی تنش، میانگین بهره‌وری، شاخص تحمل، شاخص پایداری عملکرد، شاخص تحمل تنش، میانگین بهره‌وری هندسی، شاخص عملکرد، شاخص مقاومت به خشکی، STI اصلاح شده برای وضعیت غیرتنش، STI اصلاح شده برای وضعیت تنش، نسبت کاهش عملکرد، شاخص تحمل تنش غیرزیستی، شاخص درصد حساسیت به تنش، شاخص میانگین طلایی، شاخص حساسیت به خشکی و میانگین هارمونیک استفاده شد. به دلیل پایین بودن توانایی شاخص‌ها در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل برای برنامه‌های به‌نژادی و اصلاحی، در این مطالعه شاخص‌های تحمل با هم به صورت هم‌زمان با استفاده از روش‌های چند متغیره شامل بای پلات بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و نقشه حرارتی (Heatmap) استفاده گردید. همچنین، شاخص‌های پایداری تک‌متغیره به همراه شاخص‌های چندمتغیره حاوی مدل‌های AMMI و GGE در آزمون کردن ژنوتیپ‌های این مطالعه به کار گرفته شد. بر اساس روش‌های تحمل تنش تک‌متغیره، ژنوتیپ‌های ET-85-04، سناباد و پاژ مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها برای تحمل شرایط تنش خشکی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بودند. نتایج شاخص‌های چندمتغیره (شاخص‌های پایداری) نیز نشان داد که ژنوتیپ ET-85-04 ژنوتیپ مناسبی تقریباً برای همه شرایط (نرمال و تنش) بود، ژنوتیپ‌های ET-85-04 و ET-83-20 دارای کمترین تنوع عملکرد در محیط‌های مختلف بودند و ژنوتیپ‌های ET-83-18 و ET-85-17 دارای عملکرد مناسبی در شرایط تنش خشکی شدید (در مرحله گلدهی) بودند. همچنین، طبق نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود که به جای استفاده از یک مدل خاص به تنهایی، بهتر است از روش‌های پایداری و تحمل به صورت ترکیبی استفاده شود تا ژنوتیپ‌های پایدار به درستی تشخیص داده شوند. علاوه بر آن، نتایج تجزیه پایداری نشان داد که ژنوتیپ‌های ET-85-04 و ET-83-20 کمترین تنوع را در محیط‌های مختلف داشتند. در نهایت، نتایج نشان داد که ژنوتیپ ET-85-04 می‌تواند جزء ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و هم‌زمان پایدار نیز باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، سازگاری، شاخص تحمل، AMMI، GGE، بای پلات

بصیری، ح.، ا. علیزاده، ف.، بذرافشان، م.، زارع، م.، یزدانی، م.، ۱۴۰۱. بررسی تحمل و پایداری ژنوتیپ های تربیتکاله تحت تنش خشکی و شرایط محیطی تغییر یافته. ۱۴(۵۱): ۳۳-۲۰.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

۲- دانشیار گروه علوم کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران- مسئول مکاتبات: alizadehomid51@yahoo.com

۳- استادیار گروه علوم کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

۴- دانشیار گروه علوم کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

۵- استادیار گروه علوم کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

مقدمه

تریتیکاله (*Triticosecale wittmack*) اولین محصول گیاهی ساخت بشر است که برای ادغام کردن کیفیت و ویژگی‌های مناسب گندم (*Triticum aestivum*) و چاودار (*Secale cereal*) معرفی شده است. گندم از جمله غلات با ارزش غذایی بالا است که بیشتر برای نان استفاده می‌شود، در حالی که چاودار در برابر تنش‌های محیطی مقاوم است. با این حال، کیفیت پایین بذر و شکل چروکیده آن مشکلات قابل توجهی بود که باعث کاهش ارزش ابتدایی تریتیکاله جهت دسته بندی در غلات مهم بود (مکگاورین و همکاران، ۲۰۱۱). در نتیجه تلاش‌های فراوان متخصصان اصلاح نباتات در دهه‌های اخیر، شرایط تغییر کرده و با افزایش کیفیت بذر تریتیکاله امکان دستیابی به ژنوتیپ‌ها و ایجاد ارقام مختلف فراهم شده است (داسکاوا و اسپتسو، ۲۰۲۰). از آنجایی که تریتیکاله هنوز برای کارشناسان و دانشمندان کشاورزی چندان آشنا نیست، مطالعات کمتری در مورد آن و مخصوصاً در مورد واکنش این گیاه به شرایط محیطی و تنش‌های مختلف مانند تنش خشکی انجام شده است (گودس-پینو و همکاران، ۲۰۱۲). با این حال مطالعات کمی که اخیراً انجام گردیده است، مانند ساعدموچشی و همکاران (۲۰۲۱)، ریاست و همکاران (۲۰۱۸) و تبرزد و همکاران (۲۰۱۷) نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های برتر تریتیکاله و ارقام معمول در حال کاشت گندم در ارتباط با عملکرد دانه و تحمل به شرایط تنش خشکی بوده است. به نظر می‌رسد به دلیل وجود ژن‌ها و توالی‌های DNA موجود در تریتیکاله که از چاودار به ارث رسیده است، باید احتمال بالایی برای افزایش تحمل آن نسبت به تنش خشکی وجود داشته باشد (علیزاده، و نیری، ۱۳۹۶). بنابراین، کارشناسان اصلاح نباتات به تنوع بالایی در میان جمعیت‌های سنتز شده این گیاه برای تشخیص ژنوتیپ‌های مناسبی که تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی نشان می‌دهند، نیاز دارند (داسکاوا و اسپتسو، ۲۰۲۰).

جهت یافتن ژنوتیپ‌های برتر و متحمل به شرایط تنش روش‌های مختلف اصلاح نژاد برنامه ریزی شده است (قدرت و همکاران، ۱۳۹۸) تحمل به تغییر محیط و شرایط تنش در رابطه با عملکرد دانه تریتیکاله را می‌توان با استفاده از شاخص‌های تحمل و سازگاری بررسی کرد و وثوق و همکاران (۲۰۱۵). در این راستا، شاخص SSI (شاخص حساسیت به تنش) به عنوان شاخص متحمل توسط فیشر و ماورر در سال ۱۹۷۸ برای انجام غربالگری ژنوتیپ‌ها با توجه به عملکرد دانه آنها معرفی شد (فیشر و ماورر، ۱۹۷۸). پس از آن فیشر و ماورر از شاخص

دیگری به نام RDI (شاخص خشکی نسبی) برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل و پرمحصول در شرایط تنش استفاده کردند (فیشر و ماورر، ۱۹۷۸). متعاقباً، روزیل و هامبلین (۱۹۸۱) MP (میانگین بهره‌وری) را بر اساس میانگین حسابی عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های بدون تنش و تنش معرفی کردند. مک کایگ و کلارک در سال ۱۹۸۲ شاخص TOL (تحمل) را پیشنهاد کردند و بوسالاما و شاپاک در سال ۱۹۸۴ YSI (شاخص پایداری عملکرد) را به عنوان نسبت عملکرد در شرایط تنش (Ys) به ازای عملکرد در شرایط نرمال (Yp) پیشنهاد کردند. در سال ۱۹۹۲ دو شاخص دیگر STI (شاخص تحمل تنش) و GMP (میانگین بهره‌وری هندسی) توسط فرناندز (۱۹۹۲) معرفی شد. پس از آن، برخی از شاخص‌های دیگر مانند YI (شاخص بازده) توسط گاووزی و همکاران (۱۹۹۷). پس از آن شاخص‌های دیگری مانند DRI یا DI (شاخص مقاومت به خشکی) توسط جوشنگ در سال ۱۹۹۸، دو شکل اصلاح شده STI، MpsTI و MsSTI توسط فرشادفر و سوتکا (۲۰۰۲)، YR (نسبت کاهش عملکرد) توسط چوکان و همکاران، در سال ۲۰۰۶، ATI (شاخص تحمل غیر زیستی) و SSPI (شاخص درصد حساسیت به تنش) توسط موسوی و همکاران در ۲۰۰۸، شاخص GM (میانگین طلایی) توسط مرادی دزفولی و همکاران در ۲۰۰۸، SDI (شاخص حساسیت به خشکی) توسط فرشادفر و جوادی نیا در ۲۰۱۱، HARM (یا HM: میانگین هارمونیک) توسط جعفری و همکاران در ۲۰۱۲ نیز برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و پرمحصول در شرایط تنش استفاده شد.

در طول دهه گذشته، روش‌های مختلفی چندمتغیره برای تشخیص پاسخ ژنوتیپ‌ها به محیط‌های متغیر و پایداری آن‌ها ابداع شده است که از جمله آن‌ها می‌توان روش AMMI (اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش‌های ضربی) و GGE (اثر اصلی ژنوتیپ به اضافه اثر برهمکنش ژنوتیپ در محیط) نام برد و توسط پژوهشگران مختلفی استفاده شده است (پاک نیت و همکاران ۲۰۱۳، سلوکی و همکاران ۲۰۱۸، ریاست و همکاران ۲۰۲۰). اگرچه برخی از این شاخص‌های ذکر شده برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب بسیار مناسب هستند، اما استفاده از یک روش از آنها به احتمال زیاد به نفع شرایط یک شاخص خاص نرمال یا تنش خواهد بود.

با توجه به اهمیت بالای محصول تریتیکاله و همچنین تشخیص و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی جهت بهبود عملکرد در این شرایط، هدف اصلی مطالعه حاضر

محققین مراکز تحقیقات کشاورزی کشور ایجاد شده در دو سال زراعی پشت سر هم و تحت رژیم‌های آبیاری مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. در هر سال از چهار رژیم مختلف آبیاری با توقف آبیاری در مراحل گلدهی، شیری دانه و خمیری دانه به همراه شرایط شاهد بدون اعمال تنش بررسی شد. آزمایش‌ها (فصل رشدی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸) در مزرعه پژوهشی واقع در مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی داراب (۵۲,۷۱۳۵ درجه شرقی، ۲۹,۷۶۴۲ درجه شمالی، ارتفاع ۱۶۰۰ متری) در استان فارس انجام شد. ژنوتیپ‌های تربیتکاله مورد استفاده در این پژوهش به همراه شماره (کد) مورد استفاده از آنها در تحلیل داده‌ها به صورت است:

شماره (کد) ژنوتیپ	اسم فارسی	اسم انگلیسی
1	سناباد	سناباد
2	پاچ	پاژ
3	جوانیلو	جوانیلو
4	-	ET-85-4
5	-	ET-92-15
6	-	ET-92-18
7	-	ET-83-20
8	-	ET-85-17
9	-	ET-83-18

در هر کرت اندازه‌گیری شده و به عنوان عملکرد دانه هر کرت در نظر گرفته شده و در نهایت به مقدار عملکرد در واحد سطح تبدیل گردید.

تحلیل های آماری

جهت محاسبه شاخص‌های تحمل تنش که در ادامه آورده شده است از داده‌های به دست آمده از شرایط نرمال آبیاری و شرایط تنش خشکی با قطع آبیاری در مرحله گلدهی استفاده گردید. در این مطالعه از بسته جدیدی به نام "PBTolindex" در زبان برنامه نویسی R (ارائه شده در سایت اینترنتی GitHub <https://github.com/ArminSaed/PBTolindex>) بالینک استفاده شد. بر این اساس، روش‌های تحلیلی مختلفی مانند همبستگی خطی (روش پیرسون)، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، نمودار پراکنندگی دوبعدی (۲ بعدی)، نمودار سه‌بعدی (۳ بعدی)، نقشه حرارتی و نمودار ماتریسی مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، روش‌های محاسبه شاخص‌های تحمل که در این برنامه مورد استفاده قرار گرفت به شرح زیر است.

شناسایی مناسب‌ترین ژنوتیپ‌های تربیتکاله در رابطه با تحمل به تنش خشکی و پایداری در شرایط مختلف محیطی است. همچنین، شاخص‌های پایداری و تحمل تنش در ارتباط با ژنوتیپ‌های تربیتکاله در این پژوهش مورد مقایسه و بررسی قرار می‌گیرند تا بهترین روش و شاخص‌ها جهت دستیابی به ارقام تربیتکاله مناسب و متحمل به تنش خشکی معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های زراعی و اندازه‌گیری‌ها

در این مطالعه نه (۹) ژنوتیپ برتر (از لحاظ عملکرد و کیفیت محصول) تربیتکاله با منشأ CIMMYT که اخیراً توسط

جهت آماده سازی زمین برای کاشت و انجام آزمایش از زمینی استفاده گردید که یک سال به صورت آیش بود. قبل از شروع آزمایش، زمین شخم زده شد و بعد از آن دیسک زده شد. پس از دیسک زدن زمین آزمایش گونیا گردیده و جهت کاشت بذور در کرت‌ها نشانه‌گذاری گردید. در هر سال از طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار استفاده شد. کرت‌ها شامل چهار ردیف به طول ۲ متر با فاصله ۲۰ سانتی متری بین ردیف‌ها (۱ متر × ۲ متر) بود. فاصله تقریبی بین بذرهای کاشته شده در هر ردیف برابر با ۳ سانتی‌متر و عمق کاشت برابر با ۵ سانتی‌متر بود. در زمان کاشت (بر اساس تعیین مقدار کودی به ازای یک هکتار ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره و فسفات پتاسیم در هکتار) داده شد. برای آبیاری کرت‌ها از روش نواری استفاده گردید. برای آبیاری ابتدا از خاک هر روز نمونه‌برداری می‌گردید و در صورت تخلیه حداکثر ۴۰٪ ظرفیت مزرعه (Field Capacity: FC) آبیاری در روز بعد انجام می‌گردید. در نهایت در زمان برداشت عملکرد هر چهار ردیف

$SSI = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}$	شاخص حساسیت به تنش
$RDI = \frac{\frac{Y_s}{Y_p}}{\frac{Y_s}{Y_p}}$	شاخص نسبی تنش
$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	میانگین بهره‌وری
$TOL = Y_p - Y_s$	شاخص تحمل
$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	شاخص پایداری عملکرد
$STI = \frac{Y_p \times Y_s}{Y_p^2}$	شاخص تحمل تنش
$GMP = \sqrt{(Y_s \times Y_p)}$	میانگین بهره‌وری هندسی
$YI = \frac{Y_s}{Y_p}$	شاخص عملکرد
$DI (DRI) = Y_s \times \frac{Y_p}{Y_s}$	شاخص مقاومت به خشکی
$MpSTI = \frac{Y_p^2}{Y_p} \times STI$	STI اصلاح شده برای وضعیت غیرتنش
$MsSTI = \frac{Y_s^2}{Y_s} \times STI$	STI اصلاح شده برای وضعیت تنش
$YR = 1 - (\frac{Y_s}{Y_p})$	نسبت کاهش عملکرد
$ATI = \frac{Y_p - Y_s}{Y_p \times Y_s} \times GMP$	شاخص تحمل تنش غیرزیستی
$SSPI = \frac{Y_p - Y_s}{2 \times Y_p} \times 100$	شاخص درصد حساسیت به تنش
$GM = \frac{Y_s \times Y_p}{Y_p - Y_s}$	شاخص میانگین طلایی
$SDI = \frac{Y_p - Y_s}{Y_p}$	شاخص حساسیت به خشکی
$HARM = \frac{Y_p}{2 \times Y_s \times Y_p} \times Y_p$	میانگین هارمونیک

\bar{Y}_s و \bar{Y}_p ، \bar{Y}_s ، \bar{Y}_p به ترتیب عملکرد نهایی هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش، میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و میانگین همه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش هستند.

نیز با استفاده از کتابخانه‌های R موجود به صورت آنلاین در صفحه اینترنتی <https://github.com/ArminSaed/Stbidx> بر اساس معادلات زیر ارزیابی شد.

جهت بررسی پایداری محیطی ژنوتیپ‌ها ابتدا تحلیل واریانس مرکب انجام شده و سپس مدل GGE (اثر اصلی ژنوتیپ به علاوه اثر برهمکنش ژنوتیپ در محیط) و AMMI (اثرات اصلی جمع‌پذیر به همراه اثرات برهمکنش ضریب‌پذیر)

Combined ANOVA model

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \phi_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

GGE model

$$GGE = \alpha_i + \phi_{ij} = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + p_{ij}$$

X_{ijk} : عملکرد دانه ژنوتیپ i در محیط j در تکرار k ; μ : میانگین کل در همه محیط‌ها و همه ژنوتیپ‌ها، α_i : اثر اصلی ژنوتیپ، β_j : اثر اصلی محیط، ϕ_{ij} : اثر متقابل ژنوتیپ به محیط، ε_{ijk} : اثر باقی‌مانده

g_{i1} و g_{i2} : مقادیر ویژه برای ژنوتیپ‌ها در تجزیه مولفه‌های اصلی GGE

e_{1j} و e_{2j} : مقادیر ویژه برای محیط در تجزیه مولفه‌های اصلی GGE

AMMI model

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \left[\sum_{n=1}^N (\lambda_n \times \alpha_{in} \times \gamma_{jn}) + \rho_{ij} \right] + \varepsilon_{ijk}$$

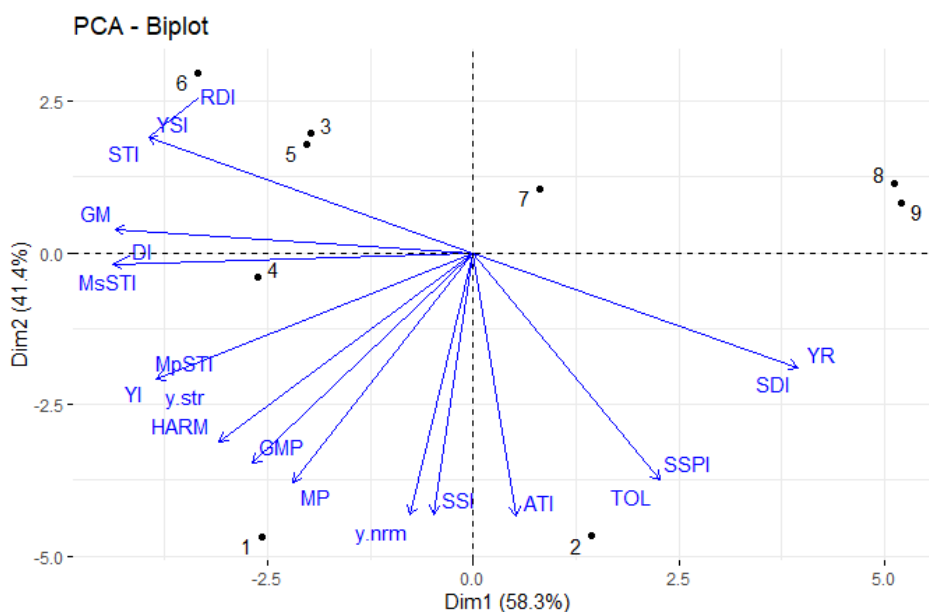
X_{ijk} : عملکرد دانه ژنوتیپ i در محیط j در تکرار k ; μ : میانگین کل در همه محیطها و همه ژنوتیپها، α_i : اثر اصلی ژنوتیپ، γ_j : اثر اصلی محیط، ε_{ijk} : اثر باقی مانده

تجزیه اثر برهمکنش ژنوتیپ در محیط به مؤلفه‌های اصلی در تحلیل PCA: $\left[\sum_{n=1}^N (\lambda_n \times \alpha_{in} \times \gamma_{jn}) + \rho_{ij} \right]$

نتایج و بحث

بین YR با هر یک از شاخص‌های STI، YSI و SDI به دست آمد. شاخص TOL با SSPI همبستگی مثبت و کامل داشت. YSI و SDI ضریب همبستگی کامل (+1) را با STI نشان دادند. همبستگی MpSTI با YI و همبستگی MsSTI با GM و DI مثبت و کامل بود. YSI، SDI و YSI، RDI و DI و GM، و همچنین SDI و RDI همبستگی بالایی با یکدیگر نشان دادند. ژنوتیپ‌های ۳ (جوانیلو)، ۵ (ET-92-15) و ۶ (ET-92-18) نزدیک شاخص‌های RDI، YSI و STI قرار گرفتند در حالی که ژنوتیپ‌های ۱ (سناباد) و ۲ (پاز) نیز در نزدیکی عملکرد در شرایط نرمال قرار داشتند.

نتایج برآورد شاخص‌های تحمل تنش برای تمامی ژنوتیپ‌های تربیتکاله آزمایش شده در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین ارتباط شاخص‌های تحمل تنش با یکدیگر و موقعیت آنها نسبت به ژنوتیپ‌های تربیتکاله در شکل ۱ ارائه شده است. بر این اساس، ارتباط بالایی بین شاخص‌های مقاومت و تحمل تنش بر اساس داده‌های جمع آوری شده از ژنوتیپ‌های تربیتکاله قابل مشاهده است. عملکرد دانه در شرایط نرمال ضرایب همبستگی مثبت تقریباً کامل (۰/۹۹) با SSI و ATI نشان داد، در حالی که با عملکرد دانه در شرایط تنش همبستگی معنی‌داری نشان نداد (شکل ۱). همبستگی MpSTI و YI با عملکرد دانه در شرایط تنش کامل بود (+1). نتایج مشابهی برای همبستگی



شکل ۱. Heatmap (B) و Biplot (A) نشان دهنده رابطه بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل است.

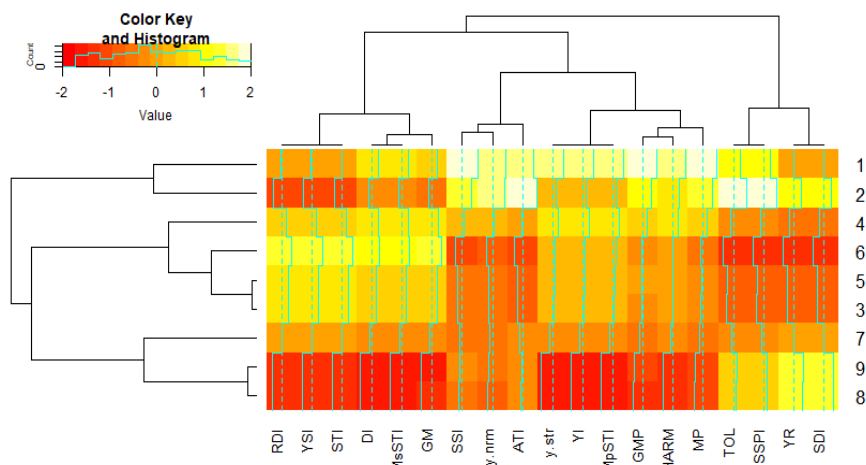
جدول ۱. شاخص‌های تحمل تخمینی برای همه ژنوتیپ‌های مورد استفاده تربیتکاله بر اساس داده‌های هر دو سال است.

ژنوتیپ	عملکرد نرمال	عملکرد تنش	YR	SSI	TOL	STI	MpSTI	MsSTI	ATI
سناباد	12691/35	7140/53	0/422	1/41	5350/82	5/78E-01	12691/35	7140/53	0/422
پاژ	12590/64	6414/96	0/49	1/26	6175/68	0/51	12590/64	6414/96	0/49
جوانیلو	9741/6	6246/15	0/359	0/89	3495/45	6/41E-01	9741/6	6246/15	0/359
ET-85-04	12832/13	6857/44	0/416	1/06	4074/69	6/24E-01	12832/13	6857/44	0/416
ET-92-15	9828	6287/28	0/36	0/9	3540/72	0/64	9828	6287/28	0/36
ET-92-18	9409/5	6377/71	0/322	0/82	3031/79	0/678	9409/5	6377/71	0/322
ET-83-20	9951/93	5772/69	0/42	0/93	4179/24	0/58	9951/93	5772/69	0/42
ET-85-17	9594	4777/65	0/502	0/92	4/82E+03	0/498	9594	4777/65	0/502
ET-83-18	9748/8	4802/49	0/507	0/94	4946/31	0/493	9748/8	4802/49	0/507

ژنوتیپ	YSI	MP	GMP	HARM	GM	SDI	SSPI	YI	DI
سناباد	0/58	10015/94	9652/01	9301/3	17410/66	4/20E-01	0/58	10015/94	9652/01
پاژ	0/51	9502/8	8987/13	8499/44	13078/48	0/49	0/51	9502/8	8987/13
جوانیلو	0/64	7993/87	7800/48	7611/76	17407/61	3/60E-01	0/64	7993/87	7800/48
ET-85-04	0/62	9994/79	8555/55	8322/83	17963/96	3/80E-01	0/62	9994/79	8555/55
ET-92-15	0/64	8057/64	7860/75	7668/67	17451/68	0/36	0/64	8057/64	7860/75
ET-92-18	0/68	7893/6	7746/68	7602/49	19793/91	0/32	0/68	7893/6	7746/68
ET-83-20	0/58	7862/31	7579/54	7306/94	13746/38	0/42	0/58	7862/31	7579/54
ET-85-17	0/5	7185/83	6770/29	6378/78	9/52E+03	0/5	0/5	7185/83	6770/29
ET-83-18	0/49	7275/65	6842/41	6434/96	9465/34	0/51	0/49	7275/65	6842/41

ژنوتیپ‌های ۱ (سناباد) و ۲ (پاژ) نیز در یک گروه جدا قرار گرفتند. شاخص‌های تحمل تنش نیز به چهار گروه اصلی تقسیم شدند. که شاخص‌های SSI و ATI به همراه عملکرد در شرایط نرمال در یک گروه و شاخص‌های MP, HARM, GMP, YI, MpSTI و عملکرد در شرایط تنش نیز در یک گروه قرار گرفتند.

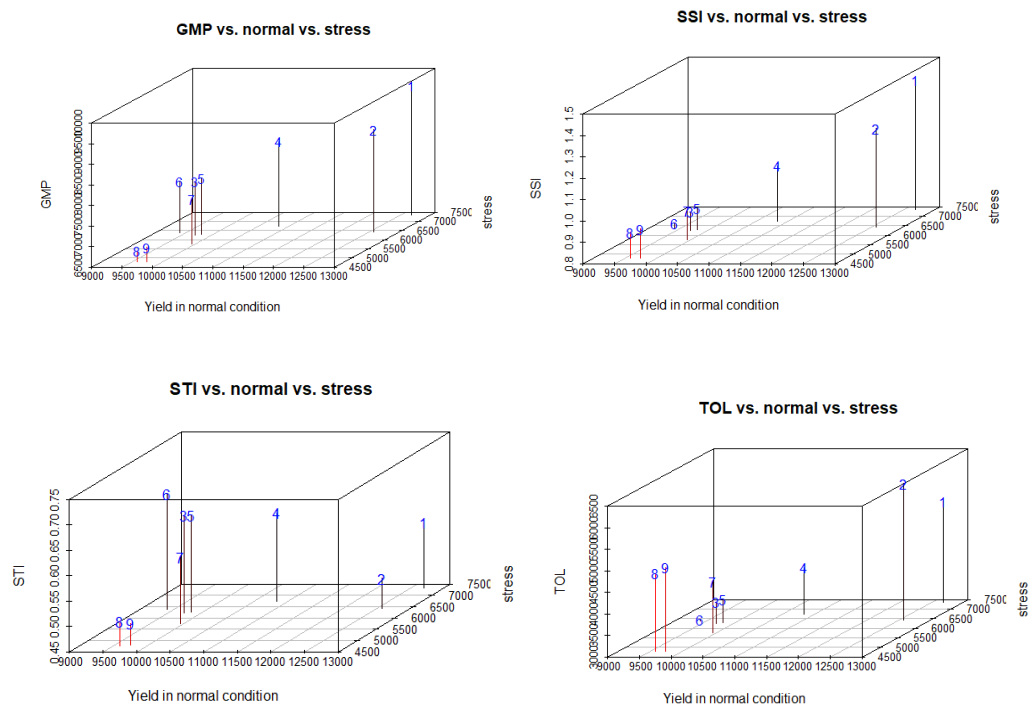
جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل تنش و همچنین گروه‌بندی این شاخص‌ها بر اساس ژنوتیپ‌های مورد بررسی از روش نقشه گرمایی در شکل ۲ استفاده گردید. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۷ (ET-83-20)، ۸ (ET-85-17) و ۹ (ET-83-18) در یک گروه، ژنوتیپ‌های ۳ (جوانیلو)، ۴ (ET-85-4)، ۵ (ET-92-15) و ۶ (ET-92-18) در یک گروه و



شکل ۲. نقشه گرمایی مربوط به گروه بندی ژنوتیپ‌های تربیتکاله بر اساس شاخص‌های تحمل تنش و برعکس

۱ (سناباد)، ۲ (جوانیلو) و ۴ (ET-85-04) از بهترین ژنوتیپ‌ها بودند که تحمل و عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند.

شکل ۳ نمودارهای سه بعدی را برای عملکرد ژنوتیپ‌های تریتیکاله در شرایط نرمال و تنش به همراه یکی از شاخص‌های مهم تنش حاوی SSI، STI، TOL و GMP نشان می‌دهد. تقریباً بر اساس تمامی شاخص‌های تحمل به تنش، ژنوتیپ‌های



شکل ۳. نمودارهای سه بعدی بر اساس عملکرد در شرایط تنش و شرایط نرمال در مقابل شاخص‌های تحمل محاسبه شده.

دو شرایط تنش و بدون تنش از سایر ژنوتیپ‌ها و گروه‌ها جدا کند. بر اساس نظر این پژوهشگر، همچنین بهترین شاخص‌ها آنهایی هستند که در هر دو شرایط تنش و غیر تنش همبستگی بالایی با عملکرد گیاه داشته باشند. بر این اساس می‌توان عنوان نمود که شاخص‌های تحمل مورد بررسی، شاخص‌های STI، GMP و SSI از جمله شاخص‌هایی بودند که هم در شرایط تنش و هم در شرایط نرمال با عملکرد دانه ژنوتیپ‌های تریتیکاله در پژوهش حاضر همبستگی مثبت و بالایی داشتند که در مطابقت با نتایج فرناندز (۱۹۹۲) است که در آن شاخص‌های فوق به عنوان بهترین شاخص برای غربالگری ژنوتیپ‌های مناسب در هر دو شرایط نرمال و تنش انتخاب شدند. بنابراین از این شاخص‌ها برای به تصویر کشیدن ژنوتیپ‌ها جهت بررسی مناسب‌تر آنها در نمودارهای سه بعدی استفاده شد. رامیرز-والجو و کیلی (۱۹۹۸) اظهار داشتند که برای به‌نژادگران و پژوهشگرانی که عملکرد نسبی در هر دو شرایط برای آنها مورد پسند است،

از میان شاخص‌های تحمل محاسبه‌شده در این مطالعه، برخی دارای همبستگی کامل (مثبت یا منفی) و یا همبستگی بالاتر از ۰/۸ با یکدیگر بودند که نشان‌دهنده شباهت بالای این شاخص‌ها جهت استفاده برای انتخاب ارقام و ژنوتیپ‌های مناسب و متحمل است و نتیجه نهایی آن توانایی استفاده از آنها به جای یکدیگر است. از طرفی توجه به این نکته حائز اهمیت است که رابطه و مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها در مطالعات مختلف برای گونه‌های دیگر و حتی برای مجموعه ژنوتیپ‌های متنوع دیگر نیز ممکن است متفاوت باشد. در نتیجه، توصیه می‌شود که برای هر مطالعه و هر مجموعه ژنوتیپ، همبستگی بین شاخص‌ها جداگانه تخمین زده شده و سپس بر اساس این ارتباط یک یا چند شاخص جهت بررسی تحمل ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد. از نظر فرناندز (۱۹۹۲)، بهترین معیار برای انتخاب در شرایط تنش خشکی شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مطلوب را برای هر

تک‌تک شاخص‌ها و همچنین بر اساس نتایج همه شاخص‌های مورد استفاده باشد. در پژوهش حاضر از روش گرافیکی نقشه حرارتی، که به ندرت برای تشخیص ارقام متحمل و حساس استفاده شده، استفاده گردید. از طرفی، پژوهشگران مختلفی از این روش جهت گروه‌بندی تیمارها و یا صفت‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های خود استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های مظفری و قادری (۲۰۱۹)، یوسفی و همکاران (۲۰۲۰) و ساعدم‌پوشی و مظفری (۲۰۲۲) اشاره نمود. بر اساس نتایج به دست آمده از روش گرافیکی نقشه حرارتی، ژنوتیپ ET-85-04 به همراه ارقام سناباد و پاژ در یک گروه قرار گرفتند. از طرفی نتایج حاصل از روش نمودارهای سه‌بعدی و بای‌پلات بر اساس عملکرد در شرایط نرمال و تنش نیز این نتیجه را تایید کرد. بنابراین، از نظر شاخص‌های تحمل تنش که با روش‌های تک و چند متغیره بررسی گردیدند، ژنوتیپ و ارقام نامبرده به احتمال زیاد برای هر دو شرایط نرمال و تنش به صورت نسبی مطلوب هستند.

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی محیط و ژنوتیپ در کنار اثر متقابل ژنوتیپ به محیط در سطح ۰/۰۱ از نظر آماری معنی‌دار بودند (جدول ۲). در این تحقیق، هر یک از چهار شرایط (آبیاری نرمال و تنش خشکی در هر مرحله) در هر سال به عنوان یک محیط در نظر گرفته شد و در نتیجه تعداد کل ۸ محیط (۲ سال در ۴ الگوی آبیاری) وجود داشت. این نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مختلف تربیتکاله واکنش‌های متفاوتی نسبت به تغییر محیط نشان داده‌اند. پس از آن، تجزیه و تحلیل پایداری برای نشان دادن محتوای پایداری هر ژنوتیپ در پاسخ به تغییر محیط انجام شد.

GM مناسب‌ترین شاخص است. در مطالعه عبدالرحمن و همکاران (۲۰۱۵)، DI، HM، YI، GMP، MP، STI و بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب برای هر دو شرایط بودند. همچنین تحقیقات دیگری وجود دارد که شاخص‌های متفاوتی را جهت بررسی مجموعه ژنوتیپ‌های خود معرفی کرده‌اند و نتایج آنها با یکدیگر و همچنین با نتایج پژوهش حاضر تا حدودی متفاوت است و از جمله این پژوهش‌های می‌توان نقوی و همکاران (۲۰۱۳)، نرجسه و همکاران (۲۰۲۰) و راد و همکاران (۲۰۲۰) را نام برد.

طبق مطالعات قبلی عنوان شده و همچنین تعدادی دیگر از پژوهش‌ها (جوشنگ ۱۹۹۸، علی اکبری و همکاران ۲۰۱۳، پاتل و همکاران ۲۰۱۹)، STI، SSI، TOL و GMP شاخص‌های هستند که بیشترین استفاده را داشته‌اند. مقادیر این شاخص‌ها به همین دلیل برای ژنوتیپ‌های تربیتکاله در پژوهش حاضر با استفاده از نمودارهای سه‌بعدی مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعه حاضر، ژنوتیپ‌های تربیتکاله از جمله ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲ و ۴ جزء ژنوتیپ‌های مناسب بر اساس نمودارهای سه بعدی هستند. همچنین شانشز-رینوزو و همکاران (۲۰۲۰) از نمودار سه بعدی برای عملکرد دانه در شرایط تنش و نرمال در مقابل STI، SSI و TOL برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب در گندم و لوبیا استفاده کردند.

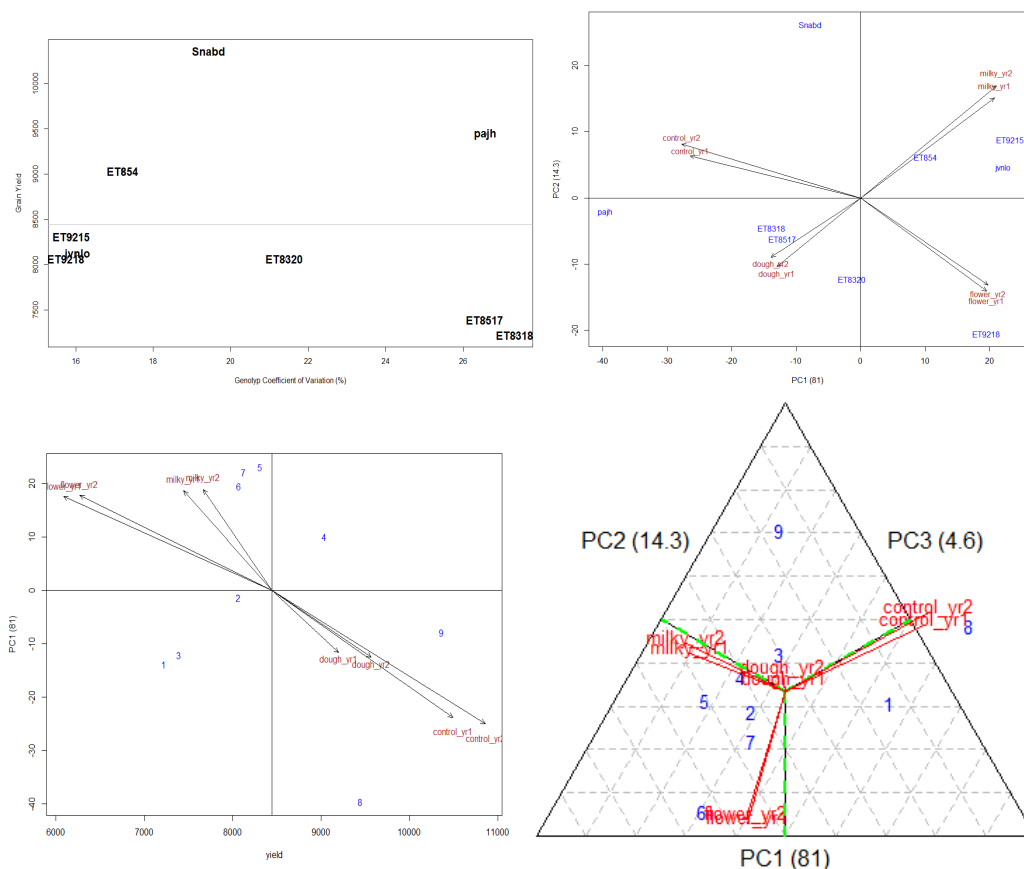
همانطور که ذکر شد، مجموعه داده‌های به دست آمده از آزمایشات مختلف نتایج متفاوتی را در ارتباط با برتری نسبی استفاده از شاخص‌های تحمل تنش نشان داده است. از این رو استفاده از روشی که قادر به ادغام نتایج تمام شاخص‌ها با هم و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس آنها باشد ضروری به نظر می‌رسد. چنین روشی باید دارای قدرت تفکیک ژنوتیپ‌ها از هم بر اساس

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب بر اساس مدل AMMI برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های تربیتکاله

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	درصد توجیه	میانگین مربعات	F	Pr(>F)
محیط (E)	7	500297503	53/91	71471072	440/187098	0
بلوک (محیط)	16	29701805	3/2	1856362/8	11/4332544	0/000314
ژنوتیپ (G)	8	192460318	20/74	24057540	148/169299	0
E×G	56	184803164	19/91	3300056/5	20/3248987	0
PC1	14	120287841	65/11	8591988/6	52/9176692	0
PC2	12	55443902	30/01	4620325/2	28/4563739	0/0453
PC3	10	9071420/5	4/91	907142/05	5/58704684	0/7044
PC4	8	0/1516499	0/82	0/0189562	1/17E-07	1
PC5	6	0	0	0	0	1
PC6	4	0	0	0	0	1
PC7	2	0	0	0	0	1
خطای باقی مانده	128	20782747	2/24	162365/21	-	-

بردارهای اندازه بلندتری را نسبت به سایر محیطها نشان داد که تنوع بالاتری را در این تیمارها نشان می‌دهد. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ET-84-04، ET-85-17 و ET-83-18 در نزدیکترین فاصله به مرکز نمودار بای پلات قرار گرفتند که نشان دهنده پایداری بالای آنها در محیط‌های مختلف است. همچنین با استفاده از نمودار IPC1 در مقابل نمودار عملکرد که در آن ژنوتیپ‌های مذکور نزدیک‌ترین به مرکز بودند، در حالی که ژنوتیپ ET-85-14 به همراه پاژ و سناباد عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان دادند (شکل ۴).

بر اساس معنی‌دار بودن اثر برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر اساس آنالیز واریانس ترکیبی، این برهمکنش را می‌توان از طریق برخی از تجزیه و تحلیل‌های تکمیلی به عنوان مثال، مدل AMMI جهت تشخیص ژنوتیپ‌های پایدار ارزیابی کرد. نتیجه این بررسی نشان داد که مولفه‌های اول و دوم (IPC1 و IPC2) مدل AMMI معنی‌دار هستند (جدول ۲) و با هم بیش از ۹۵ درصد از تغییرپذیری اثر متقابل را توجیه می‌کنند. بنابراین از IPC1 و IPC2 در نمودار بای پلات استفاده شد (شکل ۴). شرایط شاهد و عدم آبیاری در مرحله شیری در هر دو سال



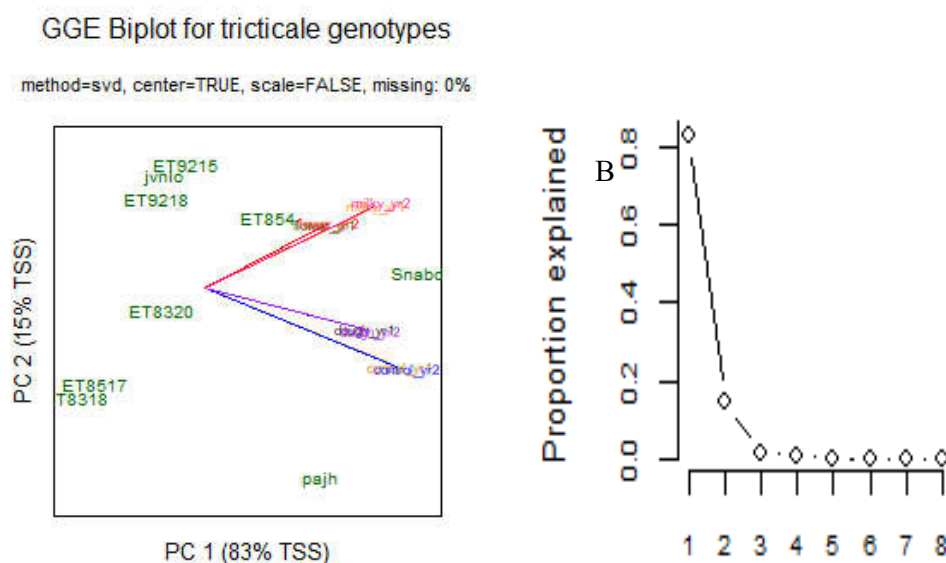
شکل ۴. ضریب تغییرات ژنوتیپ (CV) در مقابل بازده (A)، بای پلات بر اساس مدل AMMI (B)، عملکرد تریتیکاله در مقابل جزء اول (PC1) مدل AMMI (C) و بای پلات بر اساس سه PC اول AMMI مدل (D).

حدود ۸۸ درصد از تنوع کلی در مدل GGE را تشکیل می‌دهند. بر اساس نمودار بای پلات مربوط به مدل GGE، دو گروه کلی از تیمارها وجود داشت که یکی شامل قطع آبیاری در مرحله خمیری و شرایط شاهد (بدون قطع آبیاری) در هر دو سال و دیگری شامل سایر تیمارها (قطع آبیاری در مرحله شیری و

تجزیه اثر اصلی ژنوتیپ به علاوه اثر برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GGE) نیز انجام گردید و نمودار پراکنندگی جهت نمایش توجیه مؤلفه‌های استخراج شده به همراه نمودار بای پلات مربوط به دو مؤلفه اول استخراج شده با مدل GGE در شکل ۵ ارائه شده است. رایانه‌های اول و دوم در این تجزیه و تحلیل

و گروه بعدی به ET-84-04 نزدیک‌تر بودند.

گلدھی) بود. در این میان، گروه اول نزدیک‌ترین گروه به سناباد



شکل ۵. نمودار اسکری و بای پلات بر اساس مدل GGE برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های تریتیکاله.

نتایج مربوط به شاخص‌های تنش فقط می‌تواند برای مناطق با تنش شدید مورد استفاده قرار گیرد زیرا این شاخص‌ها فقط بر اساس شرایط نرمال آبیاری و شرایط تنش خشکی شدید با قطع آبیاری در مرحله گلدھی محاسبه شده‌اند. بنابراین علاوه بر تعیین تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش که با استفاده از شاخص‌های تحمل مورد بررسی قرار گرفت، پایداری ژنوتیپ‌های تریتیکاله بر اساس روش‌های چندمتغیره آماری نیز در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف شامل و محیط، اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط بسیار معنی دار بود. منعی‌دار بودن اثر متقابل محیط در ژنوتیپ نشان می‌دهد که احتمالاً برخی از ژنوتیپ‌ها برای یک یا چند محیط خاص مناسب‌تر از بقیه خواهند بود. به بیان ساده، برخی از ژنوتیپ‌ها در یک محیط عملکرد دانه بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان داده‌اند در حالی که در محیط‌های مختلف دیگر عملکرد دانه کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشته‌اند. در چنین شرایطی استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل پایداری مانند مدل‌های AMMI و GGE ابتکار مناسبی برای یافتن ژنوتیپ‌های مناسب از نظر پایداری عمومی یا اختصاصی خواهد بود.

به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌های تریتیکاله مورد استفاده در پژوهش حاضر بر اساس پایداری عملکرد، از روش‌های پایداری چندمتغیره شامل مدل AMMI و مدل GGE استفاده گردید. این دو مدل مورد بررسی به صورت مقایسه‌ای با بررسی همزمان آنها مورد استفاده گرفتند. مدل AMMI نشان داد که ژنوتیپ‌های ET-85-04، ET-92-15، ET-92-18، و ET-83-20 نزدیک‌ترین نقاط به مرکز نمودار بای پلات بودند. نزدیک‌تر بودن به مرکز نمودار بای پلات در مدل AMMI نشان‌دهنده تنوع کمتر این ژنوتیپ‌ها در مواجهه با محیط‌های مختلف است. از سوی دیگر، مدل بای پلات GGE با استخراج دو مقدار ویژه با واریانس توضیح داده شده بالاتر از ۸۸٪ نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های ET-85-04 و ET-83-20، پایداری بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان دادند. با این حال، ET-85-04 در کنار سناباد عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان داد.

این دلیل است که پژوهش حاضر می‌تواند جزء مطالعات اولیه مرتبط با بررسی پایداری تریتیکاله در کشور باشد. همچنین استفاده از مدل GGE نیز برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌های تریتیکاله بسیار کمتر بوده است. با این حال، گویال و همکاران (۲۰۱۱) ۲۷ لاین تریتیکاله را با استفاده از مدل AMMI در

در مطالعات مختلفی از روش AMMI برای بررسی پایداری گیاهان متفاوتی چون سورگوم (بوداه و همکاران، ۲۰۱۸)، گندم (سال و همکاران، ۲۰۱۸)، برنج (اکتر و همکاران، ۲۰۱۴) و سایر محصولات تا به حال انجام شده است، اما مطالعات بسیار کمتری در این زمینه تریتیکاله وجود دارد و به

شرایط تنش خشکی نیاز است که شاخص‌های تحمل به صورت چندگانه مورد استفاده قرار گیرند. بر اساس نتایج به دست آمده روشن شد که جهت استخراج اطلاعات از تمامی شاخص‌های تحمل تنش به صورت همزمان، علاوه بر استفاده از روش چندمتغیره بای‌پلات بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، روش جدید نقشه حرارتی (Heatmap) نیز از کارایی بسیار بالایی برخوردار است. بر اساس این روش‌ها، ژنوتیپ‌های ET-85-04، سناباد و پاژ مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها برای تحمل شرایط تنش خشکی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تشخیص داده شدند. علاوه بر شاخص‌های تحمل تنش، شاخص‌های پایداری چند متغیره شامل مدل‌های AMMI و GGE نیز جهت بررسی پایداری ژنوتیپ‌های تربیتکاله در محیط‌های مختلف (محیط تنش خشکی) نیز مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تجزیه پایداری نشان داد که ژنوتیپ‌های ET-85-04 و ET-83-20 کمترین تنوع را در محیط‌های مختلف داشتند. در نهایت، از ژنوتیپ ET-85-04 به عنوان ژنوتیپ متحمل به شرایط تنش خشکی و همزمان پایدار در شرایط تغییر محیطی شناخته شد و بنابراین می‌توان آن را به عنوان کاندید جهت معرفی یک رقم جدید دانست و یا از آن برای اجرای برنامه‌های اصلاحی دیگر جهت افزایش عملکرد تربیتکاله در مناطق زیر کشت و تحت تنش خشکی استفاده نمود.

سال‌های مختلف به عنوان محیط بررسی کردند که این پژوهش منجر به غربالگری دو ژنوتیپ مناسب با پایداری بالاتر نسبت به سایرین شد. اورل و همکاران (۲۰۱۸) از بای‌پلات AMMI و GGE برای آزمایش ژنوتیپ‌های تربیتکاله تحت شرایط مختلف کود نیتروژن استفاده کردند و دریافت که این روش‌ها می‌توانند برای یافتن ژنوتیپ‌هایی با کارایی بالا در دسترس‌پذیری نیتروژن مختلف بسیار مفید باشند. همچنین در این مطالعه بای‌پلات GGE به عنوان روش ارجح غربالگری ژنوتیپ‌ها معرفی شد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد که برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در برنامه‌های اصلاحی، هیچ‌کدام از شاخص‌های تحمل تنش شامل شاخص نسبی تنش، میانگین بهره‌وری، شاخص تحمل، شاخص پایداری عملکرد، شاخص تحمل تنش، میانگین بهره‌وری هندسی، شاخص عملکرد، شاخص مقاومت به خشکی، STI اصلاح شده برای وضعیت غیرتنش، STI اصلاح شده برای وضعیت تنش، نسبت کاهش عملکرد، شاخص تحمل تنش غیرزیستی، شاخص درصد حساسیت به تنش، شاخص میانگین طلایی، شاخص حساسیت به خشکی و میانگین هارمونیک به تنهایی نمی‌توانند به درستی عمل کرده و ژنوتیپ‌های برتر را شناسایی نمایند، بنابراین جهت بررسی تحمل ژنوتیپ‌ها به

منابع

- علیزاده، ا. و ز. نیری. ۱۳۹۶. تأثیر روش‌های خاکورزی بر جمعیت علفهای هرز در سه رقم گندم. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. جلد ۸: ۱۵۴-۱۶۴.
- قدرت، و.، ر. حمیدی، ا. علیزاده، ف. بذرافشان و ش. شرف زاده. ۱۳۹۸. اثر قطع آبیاری بر محتوای کلروفیل و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف پنبه (*Gossypium hirsutum* L.). مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. جلد ۳۸: ۱۷۴-۱۸۶.
- Abd El-Mohsen, A.A., M. A. Abd El-Shafi, E.M.S. Gheith and H.S. Suleiman. 2015. Using different statistical procedures for evaluating drought tolerance indices of bread wheat genotypes. *Adv. Agri. Biol.* 4: 19-30 .
- Akter, A., H. Jamil, K. Umma, M. Islam, K. Hossain and R. Mamunur. 2014. AMMI biplot analysis for stability of grain yield in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Rice Research.* 2(2): 126-134 .
- Aliakbari, M., A. Saed-Moucheshi, H. Hasheminasab, H. Pirasteh-Anosheh, M.T. Asad and Y. Emam. 2013. Suitable stress indices for screening resistant wheat genotypes under water deficit conditions. *Int. J. Agron. Plant Prod.* 4(10): 2665-2672 .
- Bousslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part I: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science.* 24: 933-937.
- Choukan, R., T. Taherkhani, M.R. Ghanadha and M. Khodarahmi. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Int. J. Agron. Plant Prod.* 8: 79-89 .
- Daskalova, N. and P. Spetsov. 2020. Taxonomic relationships and genetic variability of wild *Secale* L. species as a source for valued traits in rye, wheat and triticale breeding. *Cytol. Gen.* 54(1): 71-81.

- Farshadfar, E. and J. Javadinia. 2011. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. *Seed Plant Improv. J.* 27(4): 243-257.
- Farshadfar, E. and Sutka, J. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agron. Hungar.* 50(4): 411-416 .
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Paper presented at the Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Taiwan.
- Fischer, R. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop Pasture Sci.* 29(5): 897-912 .
- 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 J. Plant Sci.* 77(4): 523-531 .
- Goyal, A., B. Beres, H. Randhawa, A. Navabi, D. Salmon and F. Eudes. 2011. Yield stability analysis of broadly adaptive triticale germplasm in southern and central Alberta, Canada, for industrial end-use suitability. *Canadian J. Plant Sci.* 91(1): 125-135 .
- Jafari, A., F. Paknejad and J.M. Al-Ahmadi. 2012. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Int. J. Plant Prod.* 3(4): 33-38 .
- Jusheng, L. 1998. Comparison of Evaluating Methods for Agronomic Drought Resistance in Crops. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica.* 3(7): 85-87 .
- McCaig, T. N. and J.M. Clarke. 1982. Seasonal Changes in Nonstructural Carbohydrate Levels of Wheat and Oats Grown in a Semiarid Environment. *Crop Sci.* 22(5): 963-970 .
- McGoverin, C.M., F. Snyders, N. Muller, W. Botes, G. Fox and M. Manley. 2011. A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *J. Sci. Food Agric.* 91(7): 1155-1165 .
- Moradi-Dezfuli, P., F. Sharif-Zadeh and M. Janmohammadi. 2008. Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *J. Agric. Biol. Sci.* 3(3): 22-25 .
- Mousavi, S.S., S.B. Yazdi, M.R. Naghavi, A.A. Zali, H. Dashti and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *J. Agric. Biol. Sci.* 12, 165-178 .
- Mozafari, A.A. and N. Ghaderi. 2019. Iron nanoparticles and potassium silicate interaction effect on salt-stressed grape cuttings under in vitro conditions: a morphophysiological and biochemical evaluation. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 55(5): 510-518 .
- Naghavi, M.R., A.P. Aboughadareh and M. Khalili. 2013. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(3): 388-393 .
- Nargeseh, H. E., M. Aghaalikhani, A.H.S. Rad, A.Mokhtassi-Bidgoli and S.A.M. Sanavy. M. 2020. Comparison of 17 Rapeseed Cultivars under Terminal Water Deficit Conditions Using Drought Tolerance Indices. *J. Agric. Sci. Tech.* 22(2): 489-503 .
- Oral, E. 2018. Effect of nitrogen fertilization levels on grain yield and yield components in triticale based on ammi and gge biplot analysis. *Applied Ecol. Environ. Res.* 16(4): 4865-4878 .
- Patel, J.M., A.S. Patel, C.R. Patel, H.M. Mamrutha, S. Pradeep and K.P. Pachchigar. 2019. Evaluation of selection indices in screening durum wheat genotypes combining drought tolerance and high yield potential. *Int. J. Current Microbiol. Applied Sci.* 8: 1165-1178 .
- Ramirez-Vallejo, P. and J.D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica.* 99(2): 127-136 .
- Riasat, M., M. Pessarakli, A.A. Niaz and A. Saed-Moucheshi. 2018. Assessment of different wheat genotypes with altered genetic background in response to different salinity levels. *J. Plant Nut.* 41(14): 1821-1833.
- Rosielle, A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Sci.* 21(6): 943-946 .

- Saed-Moucheshi, A. and A.A. Mozafari. 2022. Alternate gene expression profiling of monoterpenes in *Hymenocrater longiflorus* as a novel pharmaceutical plant under water deficit. *Sci. reports*. 12: 1-13 .
- Saed-Moucheshi, A., F. Sohrabi, E. Fasihfar, F. Baniasadi, M. Riasat and A.A. Mozafar. 2021. Superoxide dismutase (SOD) as a selection criterion for triticale grain yield under drought stress: a comprehensive study on genomics and expression profiling, bioinformatics, heritability, and phenotypic variability. *BMC Plant Biol*. 21: 148-161.
- Sall, A.T., M. Cisse, H. Gueye, H. Kabbaj, I. Ndoye, A. Filali-Maltouf and F.M. Bassi 2018. Heat Tolerance of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Elite Germplasm Tested along the Senegal River. *J. Agric. Sci*. 10(2): 217-231 .
- Sánchez-Reinoso, A.D., G.A. Ligarreto-Moreno and H. Restrepo-Díaz. 2020. Evaluation of drought indices to identify tolerant genotypes in common bean bush (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Int. Agric*. 19: 99-107 .
- Tabarзад, A., B. Ayoubi, M. Riasat, A. Saed-Moucheshi and M. Pessarakli. 2017. Perusing biochemical antioxidant enzymes as selection criteria under drought stress in wheat varieties. *J. Plant Nut*. 40(17): 2413-2420 .
- Vosough, A., R. Ghouchani, A. Saed-Moucheshi. 2015. Genotypic variation and heritability of antioxidant related traits in wheat landraces of Iran. *Biological Forum*, 7 (2): 43-47.
- Udoh, D.A., S.K. Rasmussen, S.E. Jacobsen, G.A. Iwo and W. deMilliano. 2018. Yield Stability of Sweet Sorghum Genotypes for Bioenergy Production Under Contrasting Temperate and Tropical Environments. *J. Agric. Sci*. 10(12): 42-53 .
- Yadav, P., U. Mina and Bhatia, A. 2020. Screening of forty Indian *Amaranthus hypochondriacus* cultivars for tolerance and susceptibility to tropospheric ozone stress. *The Nucleus*. 11: 120-141 .
- Yosefi, A., A.A. Mozafari and T. Javadi. 2020. Jasmonic acid improved in vitro strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) resistance to PEG-induced water stress. *P.C.T.O.C*. 142(3): 549-558.

The tolerance and stability of triticale genotypes under drought stress and altered environmental conditions

H. Basiri¹, O. Alizadeh², F. Bazrafshan³, M. Zareh⁴, M. Yazdani⁵

Received: 2023-05-23 Accepted: 2023-12-03

Abstract

In order to consider the effect of different irrigation treatments on triticale and considering the probability of screening some suitable genotypes tolerant to drought stress, a two-year study (2018 and 2019) with four irrigation regimes (normal irrigation and withholding irrigation in three different growing stages containing flowering, milky seed, and seed filling) and nine elite genotypes (Sanabad, Paj, Javanilo, ET-92-15, ET-92-18, ET-83-20, ET-85-17, and ET-83-18) was performed. Grain yield of the triticale genotypes were measured in all treatments and used to estimate the tolerance and stability of the genotypes based on numerous number of related indices. Since, according to results of this study, no single index could be suitable for distinguishing tolerant genotypes, these indices should be applied together and extract information from all of such tolerance indices by using multivariate methods. In this study in addition to biplot based on PCA, a new method as heatmap was also applied. Furthermore, multivariate stability indices containing AMMI and GGE models applied for finding stable genotypes. According to the results of tolerance indices, genotypes ET-85-04, Sanabad, and Paj were the most tolerant genotypes in response to drought stress condition in comparison to other genotypes. Meanwhile, The results of stability analyses indicated that genotypes ET-85-04 and ET-83-20 were the genotypes with lowest variability in different environments. Therefore, ET-85-04 based on the results from both tolerance and stability indices is an suitable genotype to be used as a candidate for releasing new cultivars of triticale genotypes or applied in future breeding plans. In this study the results indicated that using stability and tolerance measuring methods together as a mixed method can be the most effective way to distinguish proper genotypes.

Keywords: stability, adaptability, tolerant index, AMMI, GGE biplot

1- PhD Student, Department of Agricultural Science, Firozabad Branch, Islamic Azad University, Firozabad, Iran
2- Associate Professor, Department of Agricultural Science, Firozabad Branch, Islamic Azad University, Firozabad, Iran
3- Assistant professor, Department of Agricultural Science, Firozabad Branch, Islamic Azad University, Firozabad, Iran
4- Associate Professor, Department of Agricultural Science, Firozabad Branch, Islamic Azad University, Firozabad, Iran
5- Assistant professor, Department of Agricultural Science, Firozabad Branch, Islamic Azad University, Firozabad, Iran