دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره هشتم، شماره ۱۵، پاییز و زمستان ۱۴۰۲
http://arpe.gonbad.ac.ir

ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های نوترکیب گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

سمیه سنچولی[۱]، عباس بیابانی[۲*]، حسین صبوری[۳]، سید جواد سجادی[۴]

[۱]دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

[۲،۳]استادان گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

[۴]استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۱

چکیده

مقدمه: گندم (*Triticum aesivum* L.) یک محصول اصلی و مهم است که به‌طور گسترده در طیف وسیعی از مناطق کشت می‌شود و یکی از منابع اصلی کربوهیدارت، پروتئین، فیبر، اسید آمینه و ویتامین می‌باشد. در میان عوامل محدودکننده عملکرد در حالت طبیعی، آب مهم‌ترین عاملی است که به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله ایران، از راه های مختلف باعث محدودیت کاشت می‌گردد. در بسیاری از محیط‌های نیمه خشک رطوبت نسبی در ابتدای فصل رشد در بالاترین حد خود بوده و با افزایش دما و قطع بارندگی‌ها کاهش می‌یابد. در این مناطق به طور معمول دوره پر شدن دانه مصادف با کم آبی و افزایش تبخیر است و در نتیجه عملکرد کاهش می‌یابد.کاهش عملکرد برای گندم به عنوان مهم ترین غله مورد نیاز بشر، تامین نیاز غذایی جمعیت رو به رشد را با مشکل مواجه می‌سازد. بنابراین اهمیت بررسی‌های بیشتر روی تنش خشکی و گندم مشخص می‌شود و به‌نژادگران را به سمت گسترش ارقام مقاوم سوق می‌دهد.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ با هدف ارزیابی تحمل به تنش ۵۰ لاین نوترکیب گندم در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس اجرا شد. این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر روی ۵۰ لاین مختلف گندم حاصل از تلاقی ارقام گنبد در زاگرس با سه تکرار و در دو تاریخ کاشت (۲۳ آبان، ۱۰ بهمن) انجام شد. فاکتور اول شامل ۵۰ لاین مختلف گندم حاصل از تلاقی ارقام گنبد در زاگرس و فاکتور دوم شامل دو تاریخ کاشت (۲۳ آبان و ۱۰ بهمن) بود. سه ردیف دو متری برای هر لاین کشت شد که بین ردیف ها ۲۰ سانتی‌متر فاصله بود و بین واحدهای آزمایشی ۴۰ سانتی‌متر فاصله داشت. سپس شاخص‌های تنش غیرزنده گیاهی با استفاده از نرم افزار iPASTIC محاسبه شد. سپس شاخص های به دست آمده با استفاده از طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

*نویسنده مسئول: abs346@yahoo.com

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]

نتایج: نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن تفاوت بین لاین‌های مورد بررسی در شرایط تنش خشکی و نرمال بود. نتایج مقایسه میانگین در بین لاین‌های مورد بررسی و شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی نشان داد که لاین ۷ مقاومت خوبی در شرایط تنش خشکی دارد. همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی محاسبه شد. نتایج تجزیه همبستگی میان شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین شاخص‌های SSI و TOL نشان می‌دهد. در این پژوهش از آنجا که MP و STI همبستگی بالا، مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نشان دادند؛ لذا به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی می‌شوند. در این تحقیق، همبستگی شاخص‌های مقاومت به تنش با عملکرد بررسی شد. براساس نتایج به دست آمده از عملکرد لاین‌های گندم و برآورد حساسیت آنها به تنش، لاین ۳۴ و ۲۶ دارای بیشترین مقاومت در بین لاین‌های مورد بررسی بود. لاین ۵ نیز جزو حساس‌ترین‌ها در کل لاین‌ها از نظر شاخص‌های مقاومت به تنش دسته‌بندی شد.

نتیجه‌گیری کلی: به‌طور کلی در این پژوهش از آنجا که که شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP) و شاخص فرناندز (STI) همبستگی بالا، مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نشان دادند؛ لذا به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی می‌شوند و بر اساس این نتایج می‌توان گفت که لاین‌های ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لاین‌هایی با مقاومت بالا هستند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص تحمل، شاخص فرناندز، همبستگی

مقدمه

در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت جهان، تقاضا برای مواد غذایی افزایش یافته است. با این حال، تغییرات آب و هوایی، آفات، آلودگی‌های زیست محیطی باعث ایجاد چالش‌های بسیاری برای پاسخ به این افزایش می‌شود. این عوامل می توانند بر تولید کشاورزی و کیفیت بذر تأثیر بگذارند. گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در جهان است (Asseng *et al*., 2020) و منبع انرژی برای بیش از نیمی از جمعیت جهان است (Lian *et al*., 2020). سطح زیر کشت گندم در سال ۲۰۲۰ در ایران و جهان به ترتیب شش میلیون هکتار و ۲۱۹ میلیون هکتار در جهان است. متوسط عملکرد گندم در جهان ۳/۶۸ تن در هکتار بوده، اما ایران دارای ۱/۶۶ تن در هکتار است (FAO, 2022). تنش های غیرزیستی مانند شوری، اشعه ماوراء بنفش، دمای بالا و پایین، خشکی و فلزات سنگین می‌توانند در مراحل مختلف چرخه زندگی گیاه بر آن‌ها تأثیر بگذارند. این تنش‌ها تأثیر زیادی بر مورفولوژی، رشد و تولید گیاه دارند (Quraan *et al*., AL-Ź2019). تولید گندم به طور جدی تحت تاثیر تغییرات اقلیم جهانی و الگوی بارندگی است. با کاهش بارندگی، تبخیر و تعرق و دمای هوا بالا رفته و در نتیجه نیاز آبی گندم بیشتر می‌شود. عامل اصلی کاهش عملکرد گندم در ایران تنش خشکی است به گونه‌ای که گزارش شده است کمبود آب می‌تواند عملکرد دانه گندم را تا ۷۰ درصد کاهش دهد (Pazireh *et al*., 2022). بنابراین یکی از راه های مناسب برای جلوگری از کاهش عملکرد در نواحی خشک و نیمه خشک، تولید واریته های متحمل به تنش خشکی است (Bogale *et al*., 2011). اگرچه خشکی بر رشد گندم در تمام مراحل رشدی تاثیر می‌گذارد، اما مراحل زایشی و پر شدن دانه حساسیت بیشتری نسبت به سایر مراحل دارند (Pradhan *et al*., 2012). خشکی انتهای فصل در گندم در اقلیم های مدیترانه‌ای معمول است و باعث کاهش نامطلوب عملکرد دانه می شود (Pazireh *et al*., 2022).

تحمل به تنش خشکی در گیاهان، حاصل فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و فنولوژیکی است که می توانند واکنش گیاه در مقابل تنش خشکی را تعیین نمایند (Passioura, 2007). افزایش عملکرد گیاهان در شرایط کمبود آب، مستلزم شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم گیاه به تنش خشکی است و بر همین اساس شاخص‌های کمی متفاوتی برای

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]

ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی نامساعد در جهت تعیین تحمل و حساسیت آن‌ها ارائه گردیده است (Passioura, 2006).

برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در شرایط صحرا شاخص‌های مختلفی بر پایه عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش خشکی پیشنهاد شده است. نتایج تحقیقات نشان دادند زمانی که خشکی آخر دوره رشد، تولید محصول را تهدید می‌کند، گزینش ارقام و لاین‌های با قدرت رشد زیاد، که بتوانند موقعی که رطوبت قابل استفاده بیشتری در خاک موجود است، از مرحله رویشی وارد مرحله زایشی شوند، می‌تواند منجر به افزایش شاخص برداشت و عملکرد دانه شود. این ارقام یا لاین‌ها فرصت بیشتری برای استفاده از رطوبت ذخیر شده در خاک قبل از وقوع خشکی آخر دوره را دارند (Shafazadeh *et al*., 2004). بر اساس واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی با تنش یا بدون تنش می‌توان آن‌ها را در چهار گروه دسته‌بندی کرد (Fernandez, 1992):

گروه A: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در دو محیط تنش و بدون تنش دارند.

گروه B: ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد خوبی در محیط بدون تنش دارند.

گروه C: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در محیط تنش دارند.

گروه D: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد پایینی در هر دو محیط دارند.

شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آن‌ها ارائه شده است، بهترین معیار گزینش آن است که قادر به تفکیک گروه A از سه گروه دیگر باشد.

روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) شاخص‌های تحمل (Tolerance = TOL) و میانگین حسابی (Mean Productivity = MP) را معرفی کردند. مقدار بالای Tol نشانه حساسیت ژنوتیپ به تنش بوده و انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر کم Tol و مقادیر بالای MP است. فیشر و مائورر (Fischer and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptility Index = SSI) را پیشنهاد نمودند. مقدار کم SSI نشان دهنده تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش و در نتیجه پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است. فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index = STI) را معرفی نمود. ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس این شاخص دارای مقادیر بالاتر STI هستند.

در بررسی ژنوتیپ‌های گندم نیز، شاخص SSI به همراه دو شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) به‌عنوان بهترین شاخص‌ها بودند (Sadeghi Shua *et al*., 2012). جباری و همکاران (Jabbari *et al*., 2012) نیز اظهار داشتند که در هر دو تیمار شدید و متوسط، فقط شاخص STI به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه، برای شناسایی هیبریدهای پرمحصول و متحمل به تنش در آفتابگردان مؤثر بود. شانظری و همکاران (Shanazari *et al*., 2021) به منظور ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم نان، تریتی‌پایروم و ترتیکاله، پژوهشی را در دو ناحیه اصفهان و شیراز انجام دادند. نتایج نشان داد لاین‌های ترتیکاله بیشترین میزان شاخص‌های MP، GMP و STI را داشتند. با توجه به اهمیت زراعت گندم در ایران و این واقعیت که بیشتر مناطق کشت این محصول با خطر تنش خشکی روبرو هستند، آزمایش حاضر با هدف بررسی وجود تنوع ژنتیکی برای تحمل به خشکی در لاین‌های نوترکیب گندم حاصل از تلاقی ارقام گنبد در زاگرس و شناسایی بهترین شاخص تحمل به خشکی به منظور استفاده جهت انتخاب لاین‌های مقاوم اجرا شد.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]

مواد و روش‌ها

این تحقیق درسال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ با هدف ارزیابی تحمل به تنش خشکی ۵۰ لاین نوترکیب گندم در مزرعه تحقیقاتی گنبد کاووس با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیق شمالی و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریای آزاد اجرا شد. این آزمایش به صورت کرت های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شئ. با ۵۰ لاین گندم حاصل از تلاقی ارقام گنبد در زاگرس و دو تاریخ کاشت (۲۳ آبان، ۱۰ بهمن) در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل دو تاریخ کاشت (۲۳ آبان و ۱۰ بهمن) فاکتور دوم شامل ۵۰ لاین مختلف گندم حاصل از تلاقی ارقام گنبد در زاگرس بود. تعداد ردیف‌های کاشت ۳ به طول ۲ متر و فاصله ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود. بین واحدهای آزمایشی ۴۰ سانتی‌متر فاصله داشت. مدیریت های زراعی (مراحل کاشت، داشت و مراقبت های مربوط به این دوره) در طی آزمایش انجام پذیرفت. عملکرد دانه در واحد سطح بر اساس کیلوگرم در هکتار، بعد از رسیدگی کامل ردیف های کشت و بر اساس برداشت در هر واحد آزمایشی تعیین شد. Ys و Yp به ترتیب عملکرد هر لاین در محیط تنش و بدون تنش است.

شاخص‌های تنش غیر زنده گیاهی با استفاده از نرم‌افزار iPASTIC (Plant Abiotic Stress Index Calculator) محاسبه شد. جدول ۱ فرمول‌های ریاضی و الگوی انتخاب هر شاخص را نشان می‌دهد. iPASTIC نرم‌افزاری مناسب برای غربالگری ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به استرس و به صورت وب اپلیکیشن (https://mohse nyous efian.com/ipast ic/) در دسترس است. عملکرد اصلی iPASTIC محاسبه چندین شاخص و درصد تغییرات نسبی ناشی از تنش نسبت به محیط بدون تنش برای مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌ها است. این نرم‌افزار قابلیت محاسبه الگوهای رتبه-بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس هر شاخص را دارد. در نتیجه، کاربران می‌توانند با استفاده از گروه‌بندی انجام شده توسط فرناندز (Fernandez, 1992) هر ژنوتیپی را در گروه های A، B، C و D قرار دهند (Pour-Aboughadareh et al., 2019). شاخص های به دست آمده به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. جدول تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با استفاده از نرم افزار SAS و همبستگی و نمودار تجزیه خوشه ای با استفاده از نرم افزار SPSS رسم شد.

جدول ۱- فرمول های ریاضی شاخص های تحمل و حساسیت محاسبه شده توسط نرم افزار iPASTIC

Table 2- Mathematical formulas of tolerance and susceptibility indices calculated by iPASTIC software (Pour-Aboughadareh et al., 2019)

Index	شاخص	Formula	Pattern of selection	Reference
Tolerance	شاخص تحمل	$TOL=Y_p-Y_s$	Minimum value	Rosielle and Hamblin (1981)
Mean productivity	میانگین عملکرد	$MP=\frac{Yp+Ys}{2}$	Maximum value	Rosielle and Hamblin (1981)
Stress susceptibility index	شاخص حساسیت به تنش	$SSI=\frac{1-(Ys/Yp)}{1-(\bar{Y}s/\bar{Y}p)}$	Minimum value	Fischer and Maurer (1978)
Stress tolerance index	شاخص تحمل به تنش	$STI=\frac{Ys\times Yp}{(Yp)^2}$	Maximum value	Fernandez (1992)

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل واریانس شاخص‌های مقاومت به استرس در شرایط نرمال و تنش خشکی نشان داد که تفاوت بین لاین‌ها برای همه صفات معنی‌دار بود. این نتیجه نشان دهنده وجود تنوع برای صفات مورد ارزیابی در شرایط خشکی و نرمال در لاین‌های مورد مطالعه است.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی در جمعیت لاین‌های نوترکیب گندم حاصل تلاقی گنبد و زاگرس

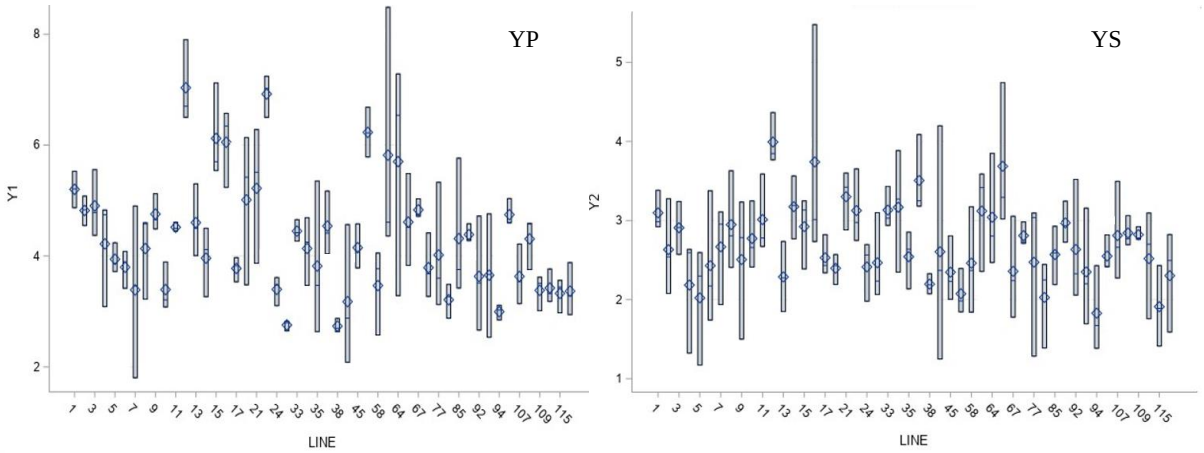
Table 2- Analysis of variance (MS) of drought stress resistance indices in the population of recombinant wheat lines resulting from the crossing of Gonbad and Zagros

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	YP	YS	TOL	MP	SSI	STI
لاین Line	49	3.110**	0.666**	2.177**	1.344**	0.355**	0.179**
تکرار Repetition	2	2.903**	4.917**	0.515ns	3.781**	0.577**	0.509**
خطا Error	98	0.635	0.291	0.607	0.311	0.181	0.047
ضریب تغییرات CV (%)		18.474	19.960	358.48	15.904	45.409	33.483

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

مقایسه میانگین شاخص‌های مورد بررسی برای ۵۰ لاین گندم حاصل از تلاقی ارقام گنبد و زاگرس انجام شد. نتایج نشان داد شاخص YP بیشترین برای لاین ۶۴ و کمترین آن برای لاین ۷ است. همچنین در مورد شاخص YS نتایج مقایسه میانگین نشان دهنده این بود که لاین ۱۶ بیشترین مقدار و لاین ۵ کمترین مقدار را دارا است (شکل ۱).

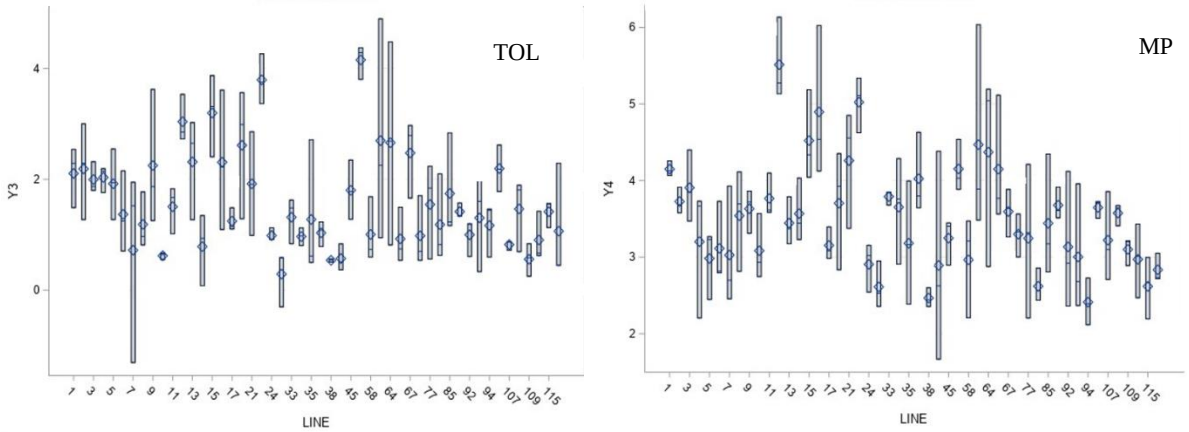


شکل۱- مقایسه میانگین لاین های مورد بررسی برای شاخص های YP و YS

Figure 1- Comparison of averages of investigated lines for YP and YS indicators

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]

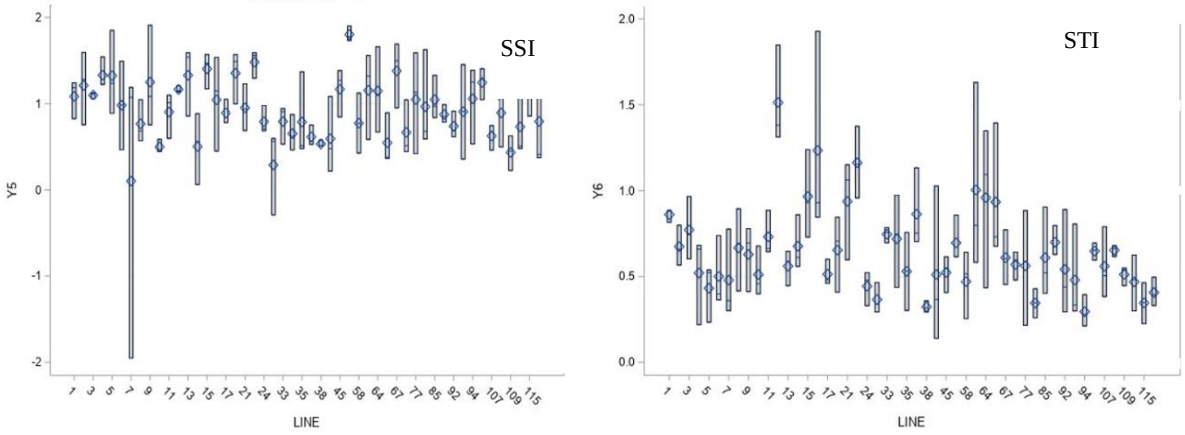
شاخص TOL یکی از شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی است که مقادیر پایین آن نشان‌دهنده تحمل ارقام به تنش می‌باشد. در بین لاین‌های مورد بررسی لاین ۶۴ و ۵۸ بیشترین مقدار و لاین ۲۵ . ۷ کمترین مقدار را دارا بودند. در مورد شاخص تحمل به تنش TOL مشخص شده است که پایین بودن مقدار این شاخص الزاما به دلیل بالا بودن عملکرد رقم در محیط تنش نمی‌باشد، چرا که ممکن است عملکرد رقمی در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش با افت عملکرد کمتری همراه باشد، که باعث کوچک شدن شاخص تحمل به تنش شود و در نتیجه این رقم، رقمی متحمل معرفی گردد (Moghaddam and Hadizade, 2002). برای شاخص MP نیز بیشترین مقدار برای لاین ۱۲ کمترین آن برای لاین ۴۲ است (شکل ۲). از شاخص‌های دیگر، SSI است که بر اساس آن در شرایط تنش بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب در لاین ۹ و ۷ مشاهده می‌شود. بیان شده است که از آنجایی که پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان یک فاکتور مقاومت به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژیکی دارد تا زراعی، می‌توان نتیجه گرفت انتخاب بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) و تحمل به تنش (TOL) باعث گزینش ارقامی با عملکرد به نسبت پایین در محیط عادی و عملکرد پایین در محیط دارای تنش می‌گردد، که چنین ارقامی مطابق با گزارش‌های اشنایدر و همکاران (Schneider *et al*., 1997) به علت عملکرد پایین، از نظر زراعی نامطلوب هستند. شاخص تحمل به تنش (STI) ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش، عملکرد بالایی دارند (Fernandez, 1992). بنابراین طبق نظر فرناندز (Fernandez, 1992) بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص STI است. چون این شاخص قادر است ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط شاهد و تنش (A) را از گروه ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا فقط در شرایط شاهد (B) و یا گروه دارای عملکرد بالا فقط در شرایط تنش (C) جدا نماید. لاین‌های ۱۵ و ۴۲ نیز به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را برای شاخص STI در بین لاین‌ها دارا بودند (شکل ۳).



شکل ۲- مقایسه میانگین لاین‌های مورد بررسی برای شاخص‌های TOL و MP

Figure 2- Comparison of the average lines under investigation for TOL and MP indices

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]



شکل ۳- مقایسه میانگین لاین‌های مورد بررسی برای شاخص‌های SSI و STI
Figure 3- Comparison of the average lines investigated for SSI and STI indicators

همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای انتخاب بهترین هیبریدها و شاخص‌ها به کار رود. همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی محاسبه شد. نتایج تجزیه همبستگی میان شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین شاخص‌های SSI و TOL نشان می‌دهد که این دو شاخص قدرت نسبتا یکسانی در گروه‌بندی و تفکیک هیبریدها دارند (جدول ۳). چوگان و همکاران (Choukan, 2000) در مطالعه خود شاخص‌های STI ، Harm، GMP و MP را که دارای بیشترین همبستگی با عملکرد در شرایط تنش و سطوح مختلف تنش بودند به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی نمودند. فرناندز (Fernandez, 1992) معتقد است مناسب‌ترین شاخص برای انتخاب ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که همبستگی نسبتاً بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش داشته باشد. بنابراین می‌توان با ارزیابی همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه در دو محیط بدون تنش و تنش مناسب‌ترین شاخص را شناسایی کرد. در این پژوهش از آنجا که که شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP) و شاخص فرناندز (STI) همبستگی بالا، مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نشان دادند، لذا به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی می‌شوند. بر اساس نتایج به دست آمده از جدول ۳ که نشان داد دو شاخص STI و MP بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ارقام مقاوم هستند، می‌توان به این نتیجه دست یافت که لاین‌های ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لاین‌هایی با مقاومت بالا هستند. گلستانی و پاک نیت (Golestani and Pak Niyat, 2007) در بررسی لاین های کنجد بیان کردند که از بین شاخص های مورد مطالعه، شاخص تحمل (TOL) با عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب، همبستگی مثبت و معنی داری در سطح احتمال یک درصد داشت و برای غربال کردن ارقام متحمل به تنش خشکی در شرایط آبیاری مطلوب، مناسب است در حالی که شاخص حساسیت به تنش (SSI) همبستگی منفی معنی داری با عملکرد دانه فقط در شرایط تنش کم آبی داشت. نتایج پژوهش انجام شده توسط شانظری و همکاران (Shanazari *et al*., 2021) بر روی گندم نان و ترتیکاله و تریتی‌پایروم در طی دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ نشان داد شاخص های MP، GMP، HARM و STI همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه در هر دو محیط تنش و بدون تنش در هر دو منطقه اصفهان و شیراز داشتند.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]

جدول ۳- همبستگی شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی در جمعیت لاین های نوترکیب گندم حاصل تلاقی گنبد و زاگرس

Table 3- Correlation of indices of resistance to drought stress in the population of recombinant wheat lines resulting from the crossing of Gonbad and Zagros.

	Yp	Ys	TOL	MP	SSI	STI
Yp	1	0.556**	0.888**	0.956**	0.668**	0.903**
Ys	0.556**	1	0.111	0.775**	-0.216	0.843**
TOL	0.888**	0.111	1	0.714**	0.918**	0.612**
MP	0.956**	0.775**	0.714**	1	0.432**	0.983**
SSI	0.668**	-0.216	0.918**	0.432**	1	0.314*
STI	0.903**	0.843**	0.612**	0.983**	0.314*	1

جدول ۴- مقادیرشاخص های مقاومت به تنش برای ۵۰ لاین گندم حاصل از تلاقی ارقام گنبد و زاگرس

Table 4- Values of stress resistance indices for 50 wheat lines resulting from crossing Gonbad and Zagros cultivars

Line	TOL	Line	MP	Line	SSI	Line	STI
۲۰ درصد از لاین‌های مقاوم 20% of resistant lines							
22	0.290467	12	5.513333	22	0.28213	12	1.508003
27	0.539767	20	5.023333	47	0.442403	16	1.215425
47	0.558467	16	4.895983	28	0.482054	20	1.16163
28	0.572033	15	4.521733	10	0.489911	32	0.974658
10	0.621	32	4.469067	27	0.528235	15	0.960627
7	0.721433	33	4.371133	14	0.531319	33	0.930869
14	0.786	19	4.260517	34	0.53758	19	0.925179
45	0.8216	30	4.1517	7	0.570078	34	0.912754
48	0.905467	1	4.1495	45	0.605636	1	0.864964
34	0.925967	34	4.149017	26	0.609804	26	0.855004
۲۰ درصد از لاین‌های حساس 20% of sensitive lines							
16	2.3095	48	2.970833	33	1.249418	31	0.458136
13	2.3149	31	2.964067	9	1.266158	28	0.444453
35	2.474667	21	2.905983	4	1.291172	21	0.440378
18	2.614333	28	2.891317	5	1.303997	5	0.428002
33	2.6604	50	2.834817	13	1.346764	50	0.416266
32	2.697867	38	2.619333	35	1.371188	22	0.365021
12	3.04	49	2.618333	18	1.396742	38	0.349577
15	3.196533	22	2.611433	15	1.398509	49	0.341203
20	3.794	27	2.466117	20	1.467938	27	0.322626
30	4.1544	43	2.412367	30	1.785806	43	0.294169

مقادیر شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی با توجه به فرمول‌های ارائه شده در جدول ۱ برای ۵۰ لاین گندم حاصل از تلاقی ارقام گنبد در زاگرس در جدول ۴ تنظیم شده است. در این تحقیق، همبستگی شاخص‌های مقاومت به تنش با

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]

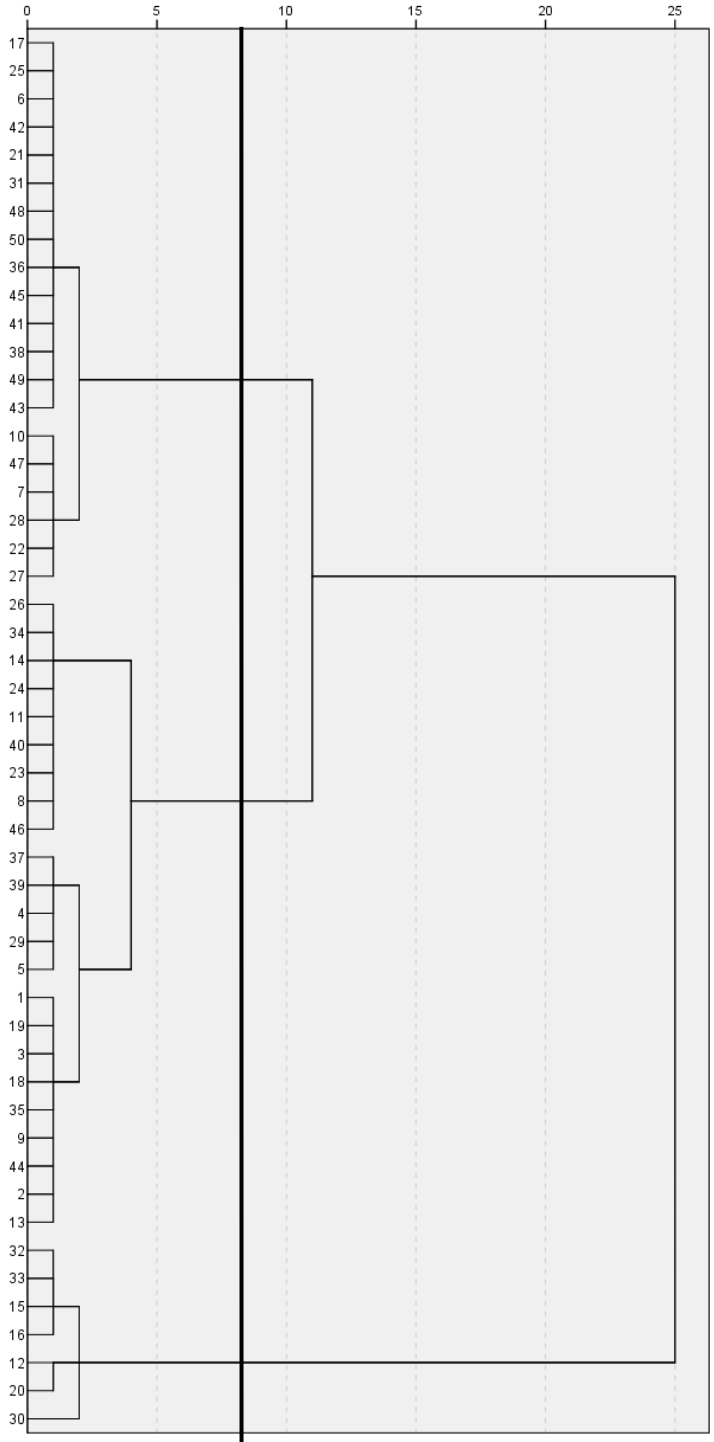
عملکرد بررسی شد. بر اساس نتایج به دست آمده از جدول ۶ و برآورد حساسیت لاین‌های گندم بر اساس عملکرد، لاین ۳۴ و ۲۶ دارای بیشترین اشتراک در میان ۲۰ درصد برتر در شاخص‌های مقاومت به تنش و در نتیجه بیشترین مقاومت در بین لاین‌های مورد بررسی بود. لاین ۵ نیز جزو حساس‌ترین ها در کل لاین‌های گروه ۱۰ درصد پایین از نظر شاخص‌های مقاومت به تنش دسته‌بندی شد.

تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها بر اساس عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی و شاخص‌های مورد بررسی، انجام شد. لاین‌ها در سه گروه طبقه‌بندی شدند. گروه سوم از نظر شاخص‌های MP و STI بیشترین میانگین را داشته و همچنین از نظر عملکرد دانه (در هر دو شرایط تنش و غیر تنش) میانگین لاین‌های این گروه نسبت به سایر گروه‌ها بیشتر بود. می‌توان لاین‌های این گروه را بر اساس طبقه‌بندی فرناندز (Fernandez, 1992) جزو لاین‌های گروه A (عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش) فرض کرد (شکل ۴). لاین های متحمل به خشکی شامل لاین‌های ۱۲، ۱۵، ۱۶، ۲۰، ۳۰، ۳۲ و ۳۳ در این گروه قرار گرفتند. گروه دوم شامل لاین‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۸، ۱۹، ۲۳، ۲۴، ۲۶، ۲۹، ۳۴، ۳۵، ۳۷، ۳۹، ۴۰، ۴۴ و ۴۶ بود (شکل ۴). میانگین این گروه از نظر عملکرد دانه در شرایط تنش تفاوت چندانی با میانگین عملکرد در شرایط تنش گروه سوم نداشت. می‌توان لاین‌های این گروه را بر اساس طبقه‌بندی فرناندز (Fernandez, 1992) جزو لاین‌های گروه C (عملکرد خوب در شرایط تنش) فرض کرد (شکل ۴). گروه اول شامل لاین‌های ۶، ۷، ۱۰، ۱۷، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳۶، ۳۸، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۵، ۴۷، ۴۸، ۴۹ و ۵۰ است که دارای میانگین MP و STI پایین‌تری نسبت به سایر گروه‌ها هستند. از نظر عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و غیر تنش کمترین میزان عملکرد را در این گروه مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

تنش‌های غیرزیستی مختلفی وجود دارد که بر رشد و بهره‌وری گیاه اثر منفی می‌گذارد که از جمله آن‌ها می‌توان به تنش خشکی اشاره کرد که یکی از عوامل مهمی است که رشد و نمو گیاه را به شدت کاهش می‌دهد. به‌طور کلی در این پژوهش از آنجا که که شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP) و شاخص فرناندز (STI) همبستگی بالا، مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نشان دادند، لذا به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی می‌شوند. بر اساس نتایج به دست آمده که نشان داد دو شاخص STI و MP بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ارقام مقاوم هستند، می‌توان به این نتیجه دست یافت که لاین‌های ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لاین‌هایی با مقاومت بالا هستند. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای نیز لاین‌های مذکور را در گروه لاین‌های با مقاومت و عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی آخر فصل گروه‌بندی کرد. بر پایه نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد انتخاب و کشت این لاین‌ها، چنانچه در پژوهش‌های تکمیلی مورد تایید قرار گیرد، می‌تواند گزینه‌های مناسبی برای بهبود عملکرد، در مناطقی که آب قابل دسترس در دوره پر شدن دانه کم است، باشد.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]



شکل ۴- دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه ای لاین های مورد بررسی بر اساس شاخص های تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و غیر تنش

Figure 4- Dendogram resulting from the cluster analysis of the studied lines based on drought stress tolerance indices and grain yield under stress and non-stress conditions

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]

منابع

AL-Quraan N.A., AL-Ajlouni Z.I., Obedat D.I. 2019. The GABA shunt pathway in germinating seeds of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) under salt stress. Seed Science Research, 1-11.

Asseng S., Guarin J.R., Raman M., Monje O., Kiss G., Despommier D.D., Meggers F.M., Gauthier P.P.G. 2020. Wheat yield potential in controlled-environment vertical farms. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117: 19131-19135.

Bogale, A., Tesfaye, K. and Geleto, T. 2011. Morphological and physiological attributes associated to drought tolerance of Ethiopian durum wheat genotypes under water deficit condition. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 2: 22-36.

Choukan R. 2000. Stability of Grain Yield and Yield Components of Maize Hybrids. Seed and Plant Journal, 15: 170-183.

FAO. 2022. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

Fernandez G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In C. G. Kuo [ed.], Adaptation of food crops to temperature and water stress, 257–270. Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan.

Fernandez GCJ. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo CG, editor, Proceedings of the International Symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress. AVRDC Publication, Tainan, Taiwan. 13-18 Aug, Chapter 25, 257-270.

Fischer R.A., Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.

Jabbari H., Akbari G.A., Daneshian J., Alahdadi I., Shahbazian N. 2012. Utilization ability of drought resistance indices in sunflower (*Helianthus annus* L.) hybrids. Crop Production, 1 1-17. (In Persian).

Lian J., Wu J., Xiong H., Zeb A., Yang T., Su X., Sua L., W. 2020. Impact of polystyrene nanoplastics (PSNPs) on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Hazardous Materials, 358: 121620.

Moghaddam A., Hadizade M.H. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal, 18: 255272. (In Persian).

Passioura J.B. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce-from breeding to field management. Agricultural Water Management, 80, 176-196.

Passioura J.B. 2007. The drought environment: Physical, biological and agricultural perspectives. Journal of Experimental Botany, 58:113-117.

Pazireh S., Maghsoudi Moud A.A., Tohidi Nejad E., Mohayeji, M. 2022. Effect of terminal drought stress on photosynthetic pigments and nutritional value of bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in Kerman. Journal of Plant Process and Function, 12 (53): 355-369. (In Persian).

Pour-Aboughadareh A., Yousefian M., Moradkhani H., Moghaddam Vahed M., Poczai P., Siddique K.H.M. 2019. iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. Applications in Plant Sciences, 7 (7): e11278.

Pradhan, G.P., Prasad, P.V., Fritz, A.K., Kirkham, M.B., Gill, B.S. 2012. Effects of drought and high temperature stress on synthetic hexaploid wheat. Functional Plant Biology 3: 190-198.

Rosielle A.A., Hamblin J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-946.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]

Sadeghi Shua M., Paknejad F., Shahbaz Panahi B., Nasri R. 2012. Evaluation of drought resistance indices in bread wheat. National nonoperating defense conference in the agricultural sector. Qeshm, November, 30, 2012. (In Persian).

Schneider K.A., Rosales-Serna R., Ibarra-Perez F., Cazares-Enriques B., Acosta-Gallegos J.A., Ramirez-Allejo P., Wassimi N., Kelly J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science, 37: 43-50.

Shafazadeh M.K., Yazdan Sepas A., Amini A., Ghanadha M.R. 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).

Shanazari M., Golkar P., Mirmohammady Maibody S.A.M., Shahsavand-Hassani H. 2021. Using drought tolerance indices in evaluation of some wheat, triticale and tritipyrum tenotypes. Journal of Crop Production and Processing, 10 (4): 45-68. (In Persian).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-01-28]