دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

مسعود بخشایشی قشلاق[1] و مرتضی شکارچی‌زاده[2]

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران، (نویسنده مسوول: m.b2034@yahoo.com)
۲- کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی، آزمایشی با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی برای ۱۳ ژنوتیپ گندم در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات دیم مراغه در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ اجرا گردید. بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش (Y_P) و تنش (Y_S)، شاخص‌های کمّی مقاومت به خشکی از قبیل: شاخص تحمل (TOL)، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص میانگین هندسی تولید (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص میانگین هارمونیک (HM) محاسبه شدند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط آبی و غیر معنی‌داری از نظر عملکرد در شرایط دیم نشان داد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد در شرایط آبی و دیم به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۴ و ۱۲ بوده است. بیشترین شاخص تحمل (TOL)، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص میانگین هارمونیک (HM)، شاخص میانگین هندسی تولید (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) متعلق به ارقام شماره ۴، ۶ و ۱ بود. تحلیل همبستگی عملکرد و شاخص‌های مقاومت به خشکی در محیط تنش و بدون تنش نشان داد که شاخص تحمل تنش (STI)، مناسب‌ترین شاخص برای غربال‌سازی ژنوتیپ‌های گندم می‌باشد. نتایج تجزیه خوشه‌ای عملکرد در شرایط بدون تنش (Y_P) و تنش (Y_S)، شاخص‌های کمّی مقاومت به خشکی ارقام را در سه گروه مجزا قرار داد. همچنین تجزیه به عامل‌ها بر اساس روش تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که دو عامل اول ۹۹/۹ درصد (عامل اول ۷۴/۲۶ درصد و عامل دوم ۲۵/۶۴ درصد) از تغییرات متغیرهای مورد بررسی در شرایط تنش و بدون تنش را توجیه می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، شاخص‌های مقاومت به خشکی، عملکرد دانه، همبستگی

مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی و از عوامل کاهش‌دهنده عملکرد و تولید محصولات زراعی در بسیاری از نقاط دنیا، به ویژه مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران محسوب می‌شود (۹). محققان تعاریف مختلفی را در مورد تنش خشکی ارائه داده‌اند. نیسبیت (۱۳)، تنش خشکی را به معنی کمبود نزولات جوی به مدت طولانی می‌داند. لویت (۱۱) تنش کمبود آب را که به‌صورت طبیعی در اثر عدم وقوع بارندگی رخ می‌دهد، تنش خشکی نامیده است. به این معنی که، ناکافی بودن آب قابل دسترس به صورت بارندگی از نظر مقدار و پراکندگی آن در طی چرخه زندگی گیاه، پتانسیل عملکرد آن را پایین می‌آورد. همچنین کرامر و همکاران (۳) نیز خشکی را به صورت فقدان یا کمبود نزولات در محیط در نظر می‌گیرند که بر اثر آن گیاه آسیب می‌بینند.

برای انتخاب بر اساس عملکرد، شاخص‌های متفاوتی پیشنهاد شده است. این شاخص‌ها، عملکرد گیاه را در دو محیط تنش و بدون تنش در بر می‌گیرند. شاخص‌های کمّی تحمل به خشکی توسط محققین مختلفی معرفی و به کار گرفته شده‌اند. فرناندز (۵) در معرفی شاخص‌های کمّی تحمل به خشکی اظهار می‌دارد که هرچقدر عملکرد تحت شرایط تنش (Y_s)[1] به عملکرد تحت شرایط بدون تنش (Y_p)[2] نزدیک‌تر باشد، حساسیت رقم به خشکی کمتر بوده و در نتیجه مقدار (Y_r)[3] و به تبع آن شاخص حساسیت به تنش (SSI) آن رقم کوچکتر می‌شود. تحمل یا حساسیت نسبی ارقام به خشکی را می‌توان از مقایسه مقادیر SSI[4] آنها تعیین کرد.

فرناندز (۵) بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و فاقد تنش آنها را به چهار گروه تقسیم‌بندی کرد: گروه یک شامل ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در هر دو محیط بدون تنش و تنش‌دار (گروه D)، گروه دو ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط بدون تنش برتر بوده و در محیط تنش‌دار جزء ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین هستند (گروه B)، گروه سه شامل ژنوتیپ‌هایی دارای عملکرد نسبتاً بالا فقط در محیط تنش‌دار، طوری که تحت محیط بدون تنش در گروه ارقام دارای عملکرد پایین قرار می‌گیرند (گروه C)، گروه چهار ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط برتر بوده و عملکرد بیشتری دارند (گروه A).

1- Yield performance in stressed 2- Yield performance non-stressed 3- Yield reduction 4- Stress Susceptibility Index

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]

فرناندز (۵) معتقد است مناسب‌ترین معیار برای انتخاب به تنش، معیاری است که قادر به تشخیص گروه چهار از سایر گروه‌ها باشد.

روزیلی و هامبلین (۱۶) شاخص‌های تحمل (TOL)[1] و میانگین بهره‌وری (MP)[2] را ارائه کردند. گزینش بر اساس شاخص TOL، ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل پایین عملکرد تحت شرایط بدون تنش و عملکرد بالا تحت شرایط تنش را انتخاب می‌کند. در اکثر آزمایش‌های عملکرد همبستگی بین TOL با Y_s و Y_p مثبت می‌باشد. بنابراین شاخص TOL قادر به تشخیص اختلاف بین گروه چهار و گروه سه نمی‌باشد. همچنین، شاخص میانگین بهره‌وری (MP) قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه چهار و گروه دو نیست و انتخاب بر اساس مقادیر بالای MP انجام می‌شود.

فیشر و مائورر (۶) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را پیشنهاد کردند که انتخاب بر اساس SSI موجب انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل تولید پایینی می‌شود که عملکرد بالایی تحت شرایط تنش دارند. این شاخص قادر به تفکیک گروه چهار و گروه سه نیست.

عزیزی‌نیا و همکاران (۲) گزارش کردند که استفاده از شاخص SSI از مزایای بیشتری برای گزینش ارقام مطلوب گندم در شرایط تنش و بدون تنش برخوردار بود.

فرناندز (۵) شاخص تحمل تنش (STI)[3] را معرفی کرد. وی عقیده داشت که شاخص تحمل به تنش شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها جهت دستیابی به عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش می‌باشد. این شاخص ژنوتیپ‌هایی را که دارای عملکرد بالا تحت شرایط تنش و بدون تنش هستند از سایر گروه‌ها جدا می‌کند.

نورمندموید و همکاران (۱۴) گزارش کردند که شاخص STI در یافتن ژنوتیپ‌هایی که پتانسیل عملکرد بالایی داشته و متحمل به تنش می‌باشند از سایر شاخص‌های معرفی شده موفق‌تر است.

همچنین فرناندز (۵) شاخص دیگری تحت عنوان میانگین هندسی عملکرد (GMP)[4] ارائه کرد که حساسیت کمتری نسبت به عملکرد در شرایط نرمال و تنش دارد. طبق نظر فرناندز (۵) شاخص‌هایی که در دو محیط نرمال و تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند. برخی محققین تلاش‌هایی در جهت تعیین بهترین معیار به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب برای مناطق خشک انجام داده‌اند.

صفازاده و همکاران (۱۸) در بررسی واکنش ژنوتیپ‌های گندم نان به شرایط تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که در مجموع، شاخص‌های MP، GMP و STI در تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی نتیجه مناسبی را نسبت به دو شاخص TOL و SSI ارائه می‌کنند.

کرمی و همکاران (۸) در بررسی شاخص‌های کمّی مقاومت به خشکی در ارقام جو به این نتیجه رسیدند که ۳ شاخص MP، GMP و STI نسبت به دو شاخص TOL و SSI نتیجه مناسبی را ارائه می‌کنند. هدف از این آزمایش تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های کمّی تحمل به خشکی و دستیابی به ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و حصول عملکردهای بالاتر در شرایط تنش خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی میزان تحمل به خشکی در ۱۲ ژنوتیپ گندم نان انتخابی از آزمایش‌های به‌نژادی بخش غلات موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور به همراه رقم آذر ۲ به‌عنوان شاهد، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار و در دو آزمایش جداگانه تحت آبیاری تکمیلی و دیم در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ انجام شد. اسامی و شجره ژنوتیپ‌های مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نام و شجره ژنوتیپ‌های مورد استفاده

شماره	ژنوتیپ
1	AZAR-2/78 Zhong 291- 99
2	Seafallah/3/Sbn//Trm/K253 IRW2000-1189-0MA-0MA-0SN-0SN-2SN
3	SARA-PBWYT-85-86-22-5
4	RAN/NE701136//CI13449/CTK/3/CUPE/4/F134.71/NAC/5/MV17 TCI972217-0SE-0YC-0YE-3YE-0YE-2YE-0YE
5	SN64//SKE/2*ANE/3/SX/4/BEZ/5/SERI/6/VORONA/HD2402/7/F10S-1 TCI972322-0SE-0YC-0YE-15YE-0YE-1YE-0YE
6	F1-1S-1//CIMMARRON TCI97-315-0AP-0AP-11AP-2AP-5AP-0AP
7	SABALAN/4/VRZ/3/OR F1.148/TDL//BLO
8	KARAHAN
9	BAYRAKTAR
10	Sel from IF3 (TCI 2002-03 Nusery 1) - 355
11	Sardari-101
12	Alvand
13	Azar-2

1- Tolerance Index 2- Mean Productivity 3- Stress Tolerance Index 4- Geometric Mean Productivity

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]

محل اجرای آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی دیم (مراغه) واقع در ۳۰ کیلومتری شرق مراغه بوده است. ارتفاع این منطقه از سطح آب‌های آزاد ۱۷۵۰ متر، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی می‌باشد که از یک اقلیم نیمه خشک سرد هم مرز با فرا سرد برخوردار است (۱۷). حرارت متوسط خاک در عمق ۵۰ سانتی‌متر در حدود ۱۵-۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط دمای سالیانه خاک کمتر از ۲۲ درجه سانتی‌گراد و اختلاف حرارت میانگین تابستان و زمستان، بیشتر یا مساوی ۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۱). بعد از تهیه زمین که شامل شخم پاییزه و بهاره، دیسک و لولر بـود بر اساس آزمون خاک مقادیـر کودی به مقدار ۶۰-۲۵-۴۰ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب نیتروژن، فسفر و پتاسیم) به‌صورت یکنواخت در کل مزرعه استفاده شد که کودهای فسفات و پتاسیم به همراه نصف مقدار کود نیتروژن در پاییز در زمان تهیه زمین و نصف باقی مانده کود نیتروژن در اوایل فروردین ماه به‌عنوان کود سرک به زمین داده شد. میـــزان بذر به ترتیب با احتساب ۳۸۰ و ۴۲۰ دانه در مترمربع (شرایط دیم و آبیاری تکمیلی) بر اساس وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه محاسبه و کشت گردید. طول، تعداد خطوط و فواصل بین خطوط هر کرت به ترتیب شش متر، شش خط و ۱۷/۵ سانتی‌متر بود. آبیاری در آزمایش تحت شرایط تنش انجام نگردید ولی در آزمایش تحت شرایـــط بدون تنـش، به‌صورت معمول و بر اساس نیاز گیاه انجام شد. همچنین برای مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رویش از علف‌کش برومسیـد در مرحله سه تا پنج برگی استفاده گردید. پس از رسیدن و برداشت محصول، عملکرد دانـه ارقام در دو شرایط (بدون تنش و تنش) برآورد و بر مبنای طرح آماری به کار رفته، مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. به‌منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به شرایط تنش خشکی، از شاخص‌های مختلف به شرح زیر استفاده گردید:

شاخص حساسیت به تنش (SSI) (۶):

$$SSI = \frac{1-(Ys/Yp)}{SI} \qquad SI = 1 - (\bar{Y}s/\bar{Y}p) \qquad (۱)$$

هرچقدر مقدار SSI کوچکتر باشد، میزان تحمل به خشکی بالاتر است.

شاخص تحمل به تنش (STI) (۵):

$$STI = \left[\frac{Yp}{\bar{Y}p}\right]\left[\frac{Ys}{\bar{Y}s}\right]\left[\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}\right] = \frac{(Ys).(Yp)}{(\bar{Y}p)^2} \qquad (۲)$$

مقدار بالاتر شاخص STI برای یک ژنوتیپ نمایانگر تحمل به خشکی بالا و عملکـرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ می‌باشد.

شاخص تحمل (TOL) (۱۶):

$$TOL = Yp - Ys \qquad (۳)$$

مقادیر بالای TOL نمایانگر حساسیت بیشتر به تنش خشکی بوده و هر قدر مقادیر این شاخص پائین‌تر باشد، مطلوبتر خواهد بود.

شاخـص میانگین هارمونیک (HM)[1]:

$$HM = \frac{2(Yp.Ys)}{Yp+Ys} \qquad (۴)$$

هرچقدر مقـدار عددی این شاخص بالاتر باشد حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی کمتر خواهد بود.

شاخص میانگین محصول‌دهی (MP) (۱۶):

$$MP = \frac{Ys + Yp}{2} \qquad (۵)$$

ارقام متحمل‌تر و مطلوب‌تر دارای مقادیر بیشتر MP می‌باشند.

شاخص میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP) (۵):

$$GMP = \sqrt{(Ys).(Yp)} \qquad (۶)$$

این شاخص حساسیت کمتری به مقادیر بسیار متفاوت Y_S و Y_P دارد و بیشتر بودن مقدار عددی آن نشانه تحمل بیشتر به تنش می‌باشد. در این مطالعه تجزیه به مولفه‌های اصلی با استفاده از شاخص‌های انتخاب برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی انجام شد. همچنین برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با توجه به شاخص‌های تحمل به خشکی از روش وارد[2] و به کارگیری فاصله اقلیدسی استفاده شد.

جدول ۲- در روابط فوق هریک از اجزاء به شرح ذیل تعریف شده‌اند

Y_P= عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش	$\bar{Y}_P$= میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش
Y_S= عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در محیط تنش	$\bar{Y}_S$= میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش
SI = معادل شدت تنش	

در این تحقیق برای انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزار MSTAT-C، محاسبه شاخص‌های تحمل از نرم‌افزار Excel، محاسبه ضرایب همبستگی، تجزیه به مولفه‌های اصلی و تجزیه کلاستر از نرم‌افزار SPSS و رسم نمودارها از نرم‌افزار Statistic استفاده شد.

1- Harmonic Mean

2- Wards

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج آن نشان می‌دهد که اثر ژنوتیپ بر عملکرد دانه در شرایط بدون تنش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ حاکی از متفاوت بودن توان ژنتیکی ژنوتیپ‌ها در بروز صفت عملکرد دانه می‌باشد. همچنین اثر ژنوتیپ در شرایط تنش معنی‌دار نشد. زری و همکاران (۱۹) در تحقیقات خود اثر ژنوتیپ را در شرایط بدون تنش معنی‌دار گزارش کردند که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

نتایج مقایسات میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد در جدول ۳ آمده است.

نتایج حاکی از آن است که در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۳ و ۶ با Y_p به ترتیب ۶۸۳۷، ۶۶۲۲ و ۶۴۸۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که از عملکرد ژنوتیپ شاهد (شماره ۱۳) بیشتر بود. همچنین ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، ۱۳ و ۱۰ به ترتیب با عملکرد ۴۹۳۰، ۴۹۶۰ و ۵۰۸۱ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش به خود اختصاص دادند. همچنین نتایج حاصل از جدول ۳ نشان داد که در شرایط تنش (Y_s)، ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۶ و ۱ به ترتیب با ۳۸۳۵، ۳۸۱۰ و ۳۷۶۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین و ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۸ و ۵ به ترتیب با ۳۰۹۶، ۳۴۷۴ و ۳۵۷۱ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا بودند.

کلیه شاخص‌های مورد نظر با توجه به فرمول‌های تعریف شده محاسبه و نتایج به همراه مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش در جدول ۳ خلاصه شده است. همچنین برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از پلات‌های سه بعدی استفاده شد که در آن، عملکرد در محیط بدون تنش روی محور Xها، عملکرد در محیط تنش روی محور Yها و یکی از شاخص‌های انتخاب شده روی محور Zها نمایش داده شد. بدین منظور، برای نشان دادن روابط بین این سه متغیر و جدا نمودن ژنوتیپ‌های گروه A از دیگر گروه‌ها (گروه B، C و D) و همچنین تشخیص سودمندی شاخص مورد نظر به‌عنوان معیاری برای انتخاب ارقام پرمحصول و متحمل به خشکی سطح X-Y بوسیله کشیدن خطوط متقاطع به چهار گروه A، B، C و D طبق طبقه‌بندی فرناندز (۵) تقسیم گردید. نتایج در شکل‌های ۱ تا ۶ ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش و بدون تنش

منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)	
		عملکرد دانه در شرایط بدون تنش	عملکرد دانه در شرایط تنش
تکرار	۲	۱۵۰۵۷۷۹/۲۲*	۱۶۷۲۶۷/۴۶ns
ژنوتیپ	۱۲	۱۲۰۲۲۶۹/۲۶**	۱۰۶۷۱۷/۹۵ns
اشتباه	۲۴	۳۵۳۴۲۸/۹۵	۱۷۸۶۸۴/۹۲

* و **: به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns: غیر معنی‌دار بودن.

با توجه به اینکه در شاخص (MP) میزان بالای عددی این شاخص نشان‌دهنده تحمل به تنش است، به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶ و ۱ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش انتخاب شدند. همچنین ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۲ و ۱۳ توسط شاخص میانگین محصول‌دهی (MP) به‌عنوان ژنوتیپ‌های ضعیف‌تر معرفی شدند. شاخص میانگین محصول‌دهی (MP) منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا ولی با تحمل به تنش پایین می‌شود. انتخاب بر اساس MP، متوسط عملکرد را در هر دو محیط تنش و بدون تنش افزایش می‌دهد (۵).

در بررسی نمودار سه بعدی (شکل ۱) بر اساس شاخص میانگین محصول‌دهی (MP) مشاهده شد که ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۴، ۶، ۸ و ۱۱ در گروه A قرار می‌گیرند یعنی دارای تحمل به خشکی و عملکرد بالا در دو محیط هستند. ژنوتیپ شماره ۳ که در ناحیه B قرار گرفت، ژنوتیپی بود که در محیط بدون تنش آبی عملکرد بالایی تولید نمود. ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۵، ۷، ۹، ۱۰، ۱۲ و ۱۳ در گروه C قرار گرفتند. بدین معنی که این ژنوتیپ‌ها سازگاری شدیدی فقط با محیط تنش داشته و در این شرایط عملکرد بالاتری نسبت به شرایط بدون تنش تولید کرده‌اند. بررسی نمودار سه بعدی (شکل ۱) بر اساس شاخص میانگین محصول‌دهی (MP) نشان داد که شاخص MP، از قدرت بالاتری در تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها برخوردار است. در مطالعه عزیزی‌نیا و همکاران (۲) شاخص MP به‌عنوان معیار مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش خشکی تشخیص داده شد.

از نظر شاخص تحمل (TOL)، بیشترین مقدار به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴ و ۸ و

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]

کمترین مقدار به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۱۲ و ۱۰ بود. با توجه به اینکه بر اساس شاخص TOL هرچه مقدار عددی این شاخص کوچکتر باشد ژنوتیپ متحمل‌تر است بنابراین ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۱۲ و ۱۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناخته شدند. از مطالعه شاخص TOL چنین استنباط می‌شود که ارقامی که از عملکرد بالایی برخوردار بودند، تحمل مطلوبی به تنش نشان نمی‌دهند. در واقع شاخص TOL بیان کننده تغییر حاصل در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش است. ارقامی که در شرایط تنش کاهش عملکرد کمتری نسبت به شرایط بدون تنش دارند شاخص TOL کمتری داشته و در نتیجه بر اساس این شاخص باید بیان کننده تحمل به تنش بیشتری نیز باشند (۱۵).

نتایج حاصل از شکل ۲ حاکی از این است که، با توجه به اینکه مقادیر پایین TOL نشان‌دهنده تحمل به شرایط تنش است، ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۱۲ و ۱۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند. علیرغم کوتاهی خط و داشتن TOL پایین، به علت عملکرد پایین در شرایط بدون تنش این ژنوتیپ‌ها در گروه A قرار نمی‌گیرند و در گروه C قرار گرفتند. بنابراین این شاخص قادر به تفکیک و شناسایی گروه C از A نمی‌باشد.

در شاخص میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP)، گزینش ژنوتیپ‌ها برای تحمل به تنش بر اساس مقادیر بالای شاخص GMP صورت می‌گیرد، که این حالت نشان‌دهنده ثبات عملکرد بیشتر ژنوتیپ و در نتیجه تحمل بیشتر به شرایط تنش است. بر این اساس، به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶ و ۱ با دارا بودن مقادیر بالای شاخص GMP ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۲ و ۱۳ با دارا بودن مقادیر پائین شاخص مذکور به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به تنش انتخاب شدند. شاخص GMP بر خلاف MP به مقادیر نسبتاً بالای Y_S و Y_P حساسیت ندارد و در مقایسه با MP دارای اثر اریبی به سمت بالا نیست. این شاخص ژنوتیپ‌هایی را که دارای عملکرد بالا هستند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی می‌کند و می‌تواند به عنوان یک شاخص مناسب در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل معرفی شود (۴،۱۰).

نتایج حاصل از شکل ۳ نشان داد که، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۴ و ۶ که از نظر شاخص GMP به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شده بودند در پلات‌های سه بعدی در گروه A قرار گرفتند. بنابراین شاخص GMP در تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها به مانند شاخص MP از قدرت بالاتری برخوردار می‌باشد.

بر اساس شاخص میانگین هارمونیک (HM)، هرچه مقادیر شاخص فوق بالاتر باشد، مطلوب‌تر است. بر این اساس، ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۴ و ۱ به ترتیب با بیشترین مقادیر شاخص فوق به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناسایی شدند ولی ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، ۳ و ۱۳ با دارا بودن کمترین مقادیر شاخص فوق به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی شناسایی شدند. همچنین بر اساس شکل ۴، ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۴ و ۱ که بر اساس شاخص میانگین هارمونیک (HM) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند به همراه ژنوتیپ شماره ۱۱ در گروه A قرار گرفتند که حاکی از این است که شاخص فوق قدرت بالاتری در تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها دارد. بر اساس نتایج جدول ۴ بیشترین شاخص حساسیت به تنش (SSI) به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴ و ۸ و کمترین مقدار شاخص مذکور به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۱۲ و ۱۰ بود. از آنجایی که در شاخص حساسیت به تنش (SSI)، مقادیر بالاتر و پایین‌تر به ترتیب نشان‌دهنده ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به تنش می‌باشد بنابراین ژنوتیپ های شماره ۱۳، ۱۲ و ۱۰ و ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴ و ۸ به ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و حساس به تنش خشکی شناخته شدند.

با توجه به شکل ۵ ملاحظه می‌شود ژنوتیپ‌های انتخاب شده برای مقاومت به تنش در گروه C قرار گرفتند. بنابرین می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب بر اساس شاخص SSI سبب گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط بدون تنش ولی عملکرد نسبتاً بالا در شرایط تنش شد. بنابراین شاخص SSI قادر به تفکیک و شناسایی گروه A از گروه C نمی‌باشد.

در شاخص تحمل به تنش (STI)، مقادیر عددی بالا نشان‌دهنده متحمل بودن ژنوتیپ به شرایط تنش است. بر این اساس به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶ و ۱ با دارا بودن مقادیر بالای شاخص STI به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش انتخاب شدند. همچنین در شاخص تحمل به تنش (STI)، مقادیر عددی پائین نشان‌دهنده حساس بودن ژنوتیپ به شرایط تنش است که بر این اساس، ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، ۱۳ و ۱۰ به ترتیب به عنوان ژنوتیپ‌های حساس به شرایط تنش شناخته شدند (جدول ۴).

همچنین نتایج حاصل از شکل ۶ حاکی از آن بود که، با توجه به اینکه در شاخص STI خطوط بلندتر نشان‌دهنده تحمل به شرایط تنش است، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶ و ۱ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در گروه A قرار گرفتند. همچنین شاخص STI از قدرت

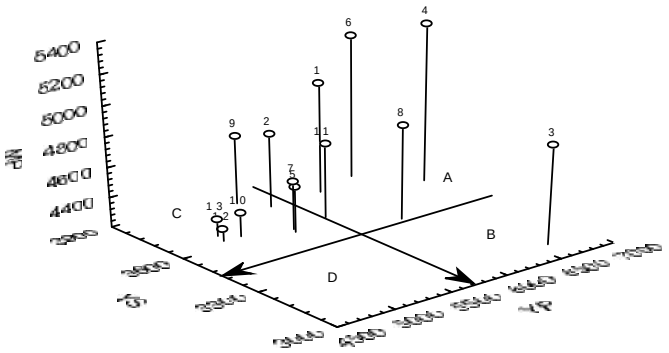
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]

بالاتری در تفکیک گروه A از سایـــر گروه‌های B، C و D برخوردار می‌باشد. معیار مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش خشکی در مطالعه کوچکی و همکاران (۱۰) شاخص STI تشخیص داده شده است.

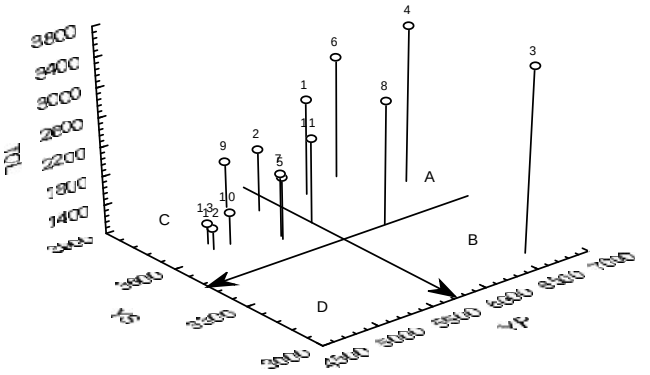
جدول ۴- ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI
۱	۶۰۹۷^{ab}	۳۷۶۶	۲۳۳۰	۴۹۳۲	۴۷۹۲	۴۶۵۶	۱/۰۳	۰/۶۹
۲	۵۶۲۶^{bc}	۳۷۶۰	۱۸۶۶	۴۶۹۳	۴۵۹۹	۴۵۰۷	۰/۸۹	۰/۶۳
۳	۶۶۲۲^{ab}	۳۰۹۶	۳۵۲۵	۴۸۵۹	۴۵۲۸	۴۲۲۰	۱/۴۳	۰/۶۱
۴	۶۸۳۷^{a}	۳۶۶۲	۳۱۷۴	۵۲۴۹	۵۰۰۳	۴۷۶۹	۱/۲۵	۰/۷۵
۵	۵۴۳۱^{cd}	۳۵۷۱	۱۸۵۹	۴۵۰۱	۴۴۰۴	۴۳۰۹	۰/۹۲	۰/۵۸
۶	۶۴۸۸^{ab}	۳۸۱۰	۲۶۷۸	۵۱۴۹	۴۹۷۲	۴۸۰۱	۱/۱۱	۰/۷۴
۷	۵۴۵۶^{cd}	۳۵۹۰	۱۸۶۵	۴۵۲۳	۴۴۲۶	۴۳۳۰	۰/۹۲	۰/۵۸
۸	۶۱۷۹^{ab}	۳۴۷۴	۲۷۰۴	۴۸۲۷	۴۶۳۳	۴۴۴۸	۱/۱۷	۰/۶۴
۹	۵۴۸۱^{cd}	۳۸۳۵	۱۶۴۵	۴۶۵۸	۴۵۸۵	۴۵۱۳	۰/۸۱	۰/۶۳
۱۰	۵۰۸۱^{de}	۳۶۳۵	۱۴۴۶	۴۳۵۸	۴۲۹۷	۴۲۳۸	۰/۷۶	۰/۵۵
۱۱	۵۷۸۴^{ab}	۳۶۰۷	۲۱۷۶	۴۶۹۶	۴۵۶۸	۴۴۴۳	۱/۰۱	۰/۶۲
۱۲	۴۹۳۰^{e}	۳۶۳۶	۱۲۹۴	۴۲۸۳	۴۲۳۴	۴۱۸۵	۰/۷۰	۰/۵۳
۱۳	۴۹۶۰^{e}	۳۶۷۴	۱۲۸۵	۴۳۱۷	۴۲۶۹	۴۲۲۱	۰/۶۹	۰/۵۴

میانگین‌هایی که با حروف غیر مشابه در هر ستون نشان داده شده‌اند، از نظر آماری اختلاف معنی‌داری دارند (آزمون دانکن).

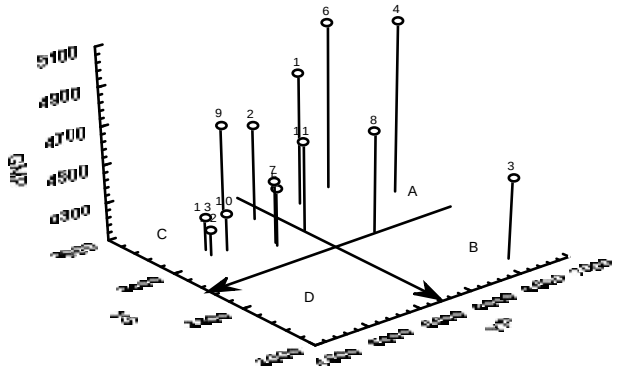


شکل ۱- نمودار سه بعدی تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص میانگین محصول‌دهی (MP)

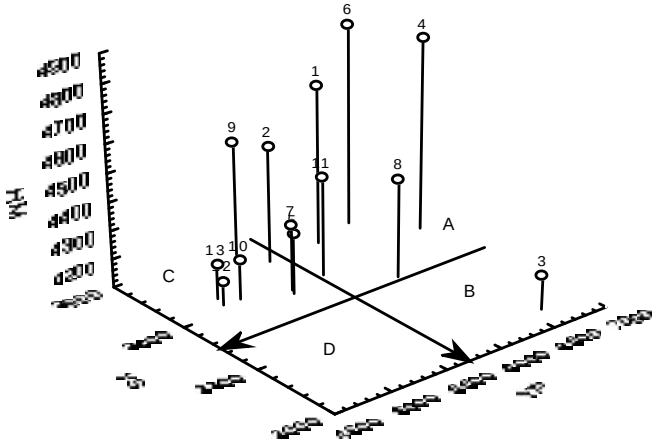


شکل ۲- نمودار سه بعدی تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص تحمل (TOL)

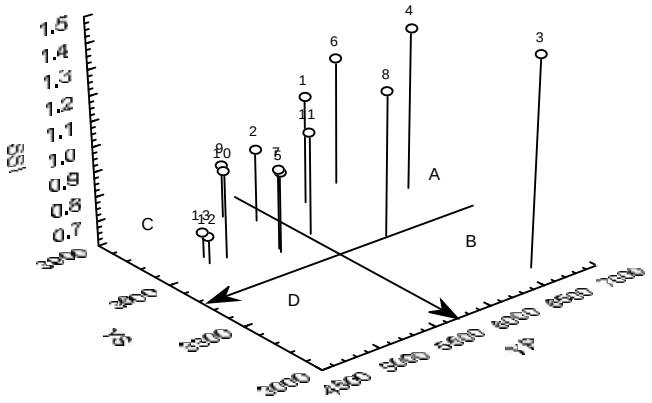
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]



شکل ۳- نمودار سه بعدی تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP)

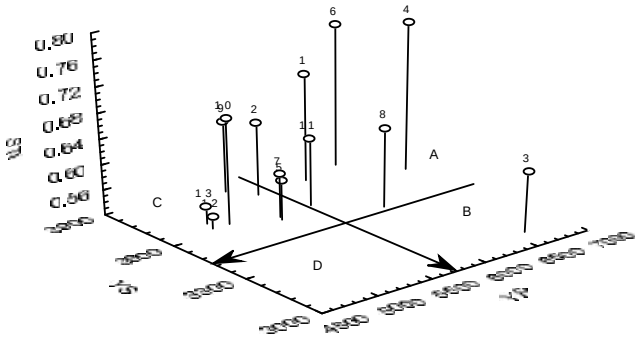


شکل ۴- نمودار سه بعدی تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص میانگین هارمونیک (HM)



شکل ۵- نمودار سه بعدی تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]



شکل ۶- نمودار سه بعدی تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص تحمل به تنش (STI)

در این مطالعه جهت تعیین مناسب‌ترین شاخص جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی از همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش استفاده گردید. شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش همبستگی بالایی با عملکرد دانه نشان دادند، به عنوان شاخص‌های مناسب تعیین شدند. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و عملکرد در محیط‌های تنش و بدون تنش در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش

	GMP	MP	TOL	SSI	STI	HM
Y_p	۰/۸۷**	۰/۸۶**	۰/۹۸**	۰/۹۴**	۰/۹۶**	۰/۶۷**
Y_s	۰/۷۷**	۰/۰۲ ns	-۰/۵۲ ns	-۰/۲۴ ns	۰/۷۵**	۰/۶۵**

**: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ns: غیر معنی‌دار.

همبستگی بین تمامی شاخص‌های مورد بررسی با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Y_p) در سطح احتمال یک درصد مثبت و معنی‌دار بود که از این میان به ترتیب شاخص‌های TOL، STI و SSI بالاترین ضریب همبستگی عملکرد دانه را در شرایط بدون تنش (Y_p) به خود اختصاص دادند. همچنین در شرایط تنش (Y_S)، بالاترین ضریب همبستگی عملکرد دانه به ترتیب با شاخص‌های GMP، STI و HM حاصل گردید.

با توجه به نتایج جدول ۵ شاخص STI با دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار در هر دو شرایط تنش و بدون تنش به‌عنوان شاخص مطلوب برای دستیابی به ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش اهمیت انتخاب شاخص STI در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شد. این مطلب در مطالعه گل آبادی و همکاران (۷) برای غربال کردن ارقام مقاوم به خشکی نیز گزارش شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

با توجه به شاخص‌های تحمل به خشکی ارزیابی شده در شرایط نرمال و تنش، جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از تجزیه خوشه‌ای استفاده گردید (شکل ۷)، که با برش خطی نمودار تجزیه خوشه‌ای از نقطه ۸ ژنوتیپ های مورد مطالعه در سه گروه قرار گرفتند.

گروه یک شامل ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۵، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳، گروه دو شامل ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۴، ۶ و ۸ و گروه سه شامل ژنوتیپ شماره ۳ بود. اگر به نمودارهای سه بعدی که در شکل‌های ۱ تا ۶ رسم شده‌اند مراجعه شود، مشاهده می‌گردد که ژنوتیپ‌های گروه یک، بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز (۵) در گروه C قرار گرفتند. از ویژگی ژنوتیپ‌هایی که در گروه یک قرار گرفتند می‌توان به عملکرد بالای آنها در محیط تنش اشاره کرد.

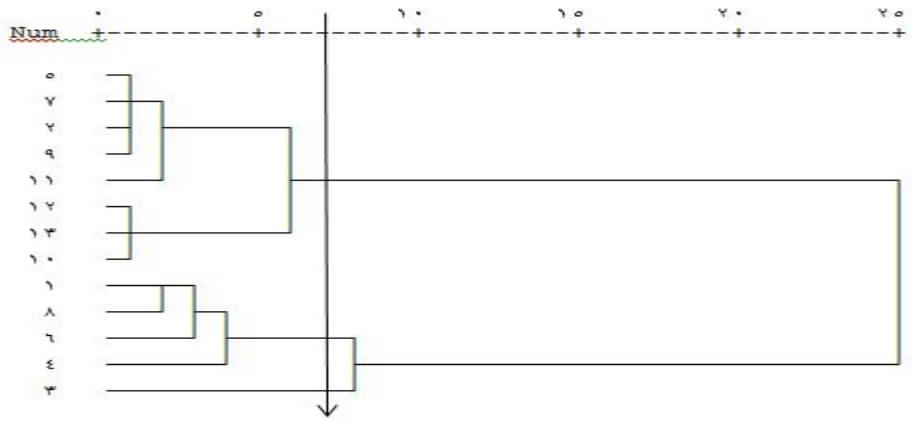
ژنوتیپ‌های گروه دو بر اساس تقسیم بندی فرناندز (۵) در گروه A قرار گرفتند که عملکرد بالایی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارا بودند. همچنین بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز (۵)، ژنوتیپ شماره ۳ که عملکرد خوبی در محیط بدون تنش دارا بود در گروه B قرار گرفت.

در این مطالعه تجزیه به مولفه‌های اصلی روی شش شاخص و دو صفت عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش در ۱۳ ژنوتیپ انجام گرفت. همانگونه که در جدول ۶ ملاحظه می‌گردد مولفه اول و دوم ۹۹/۹ درصد از

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]

تغییرات کل داده‌ها را بیان نمودند.

در این تجزیه، مولفه اول ۷۴/۲۶ درصد از تغییرات را توجیه می‌کرد و همبستگی بالایی با عملکرد در شرایط بدون تنش (Y_P) و شاخص‌های HM، STI، GMP و MP داشت.



شکل ۷- دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش

جدول ۶- بردارها و مقادیر ویژه برای شش شاخص تحمل به خشکی در ۲۳ ژنوتیپ گندم

مولفه	مقادیر ویژه	سهم تجمعی	Ys	Yp	HM	STI	SSI	TOL	MP	GMP
۱	۵/۹۴	۷۴/۲۶	۰/۴۵	۰/۷۳	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۹۰	۰/۹۷
۲	۲/۰۵	۲۵/۶۴	-۰/۸۹	۰/۶۸	-۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۴۴	۰/۲۳

در نتیجه می‌توان مولفه اول را به نام پتانسیل عملکرد نام‌گذاری کرد که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش بود. انتخاب بر اساس این مولفه، ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که عملکرد بالایی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند.

دومین مولفه ۲۵/۶۴ درصد از تغییرات را توجیه می‌کرد و همبستگی منفی و بالایی با عملکرد در شرایط تنش (Y_S) و همبستگی مثبت و بالا با شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI)، تحمل (TOL) و عملکرد در شرایط بدون تنش (Y_p) داشت. از این‌رو، مولفه دوم به نام مولفه حساس به تنش نامگذاری شد. انتخاب بر اساس این مولفه موجب گزینش ژنوتیپ‌هایی با تحمل پایین و حساس به تنش خشکی بالا می‌شود. در مطالعه نورمندموید و همکاران (۱۴) و معروفی (۱۲) روی ژنوتیپ‌های گندم دو مولفه اول بیشترین درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌ها را توجیه کردند که با توجه به رابطه مولفه‌ها و شاخص‌های مورد مطالعه، مقادیر بالاتر مولفه اول (تحمل به خشکی) و مقادیر پایین‌تر مولفه دوم (حساسیت به تنش خشکی) مطلوب بود.

بر اساس نتایج بدست آمده از این مطالعه، شاخص STI با دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش به عنوان شاخص مطلوب برای دستیابی به ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شد. ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶ و ۱ با توجه به اینکه در بیشتر شاخص‌های تحمل به خشکی مورد مطالعه از وضعیت مطلوبی برخوردار بودند لذا این ژنوتیپ‌ها نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی از تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی برخوردار بودند. همچنین بر طبق نظریه فرناندز (۵) شاخص‌های MP، HM، GMP و STI به‌عنوان شاخص مطلوب شناسایی گردیدند.

منابع

1. Anoymous. 2010. Meteorological data at dryland agricultural research staitious. Dryland Agricultural Research Institute publication, 12: 25-30. (In Persian)
2. Azizinia, S., M.R. Ghannadha, A.A. Zali, B. Yazdi-Samadi and A. Ahmadi. 2005. An evaluation of quantitative traits related to drought resistance in synthetic wheat genotypes in stress and non-stress conditions. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 36: 281-293 (In Persian)
3. Cramer, G.R., E. Epestein and M. Lauchii. 2001. Effects of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. Physiologic Plant arum, 1: 83-89.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]

4. Dhanda, S.S., G.S. Sethi and R.K. Behl. 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. Journal of Agronomy and Crop Science, 190: 6-12.
5. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In proceeding of a Symposium, Taiwan, 13-18 Aug, 257-270 pp.
6. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yields responses. Australian Journal of Agricultural Research, 14: 742-754.
7. Golabadi, M., A. Arzani and S.A.M. Mirmohamadi maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregation population in durum wheat. African Journal of Agricultural Research, 1: 162-171. (In Persian)
8. Karami, E., M.R. Ghannadha, M.R. Naghavi and M. Mardi. 2005. An evaluation of drought resistance in barley. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 36: 547-560. (In Persian)
9. Khodabandeh, N. 1990. Cereals Sepeher Press, Tehran, Iran. 401 pp. (In Persian)
10. Koocheki, A.R., A. Yazdansepas and H.R. Nikkhah. 2006. Efeect of terminal drought on grain yield and some morphological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences, 8: 14-29. (In Persian)
11. Levit, J. 1980. Response of plant to enviromental stress, Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. Journal of Arid Environment, 61: 483-496.
12. Maroufi, A. 1998. Chromosomal localization drought tolerance indices in wheat M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. 165 pp. (In Persian)
13. Nesbitt, H. 2006. Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice, Field Crop Research, 99: 48-58.
14. Nourmand Moayed, F. 1997. Study on quantitative traits and their relationship with yield in bread wheat under irrigated and dry land conditions and determination of the most appropriate drought resistance index. M.Sc.Thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Iran. 186 pp. (In Persian)
15. Ouk, M., J. Basnayake, M. Tsubo, S. Fukai, K.S. Fischer, M. Cooper and H. Nesbitt. 2006. Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice. Field Crop Research, 99: 48-58.
16. Rosielle, A.T. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-945.
17. Sadegh zadeh Ahari, D., K. Hossaini and K. Alizadeh. 1996. Study of adaptability and stability of durum wheat lines in tropical and sub-tropical dry land areas. Seed and Plant, 21: 561-576. (In Persian)
18. Shafazadeh, M.K., A. Yazdansepas, A. Amini and M.R. Ghannadha. 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. Seed and Plant, 20: 57-71. (In Persian)
19. Zarei, L., E. Farshadfar, R. Haghparast, R. Rajabi and M. Mohammadi Sarab Badieh. 2007. Evaluation of some indirect traits and indices to identify drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Asian Journal of Plant Science, 6: 1204-1210. (In Persian)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]

Evaluation of Genotypes of Bread Wheat (Triticum Aestivum) using Drought Tolerance Indices

Masuod Bakhshayeshi Geshlagh[1] and Morteza Shekarchezade[2]

1- Young Researchers and Elite club, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran,
(Corresponding author: m.b2034@yahoo.com)
2- M.Sc., Islamic Azad University of Tabriz
Received: October 31, 2011 Accepted: March 2, 2014

Abstract

In order to evaluate drought resistance indices, an experiment was carried out in a randomized complete block design in three replications with bread thirteen wheat genotypes and two levels of irrigation, stressed and non stressed, at Dry land Agricultural Research Institute (DARI), Maragheh, in 2009-2010. To evaluate drought tolerance genotypes on the basis of yield performance in stressed (y_s) and non-stressed (y_p) environments, quantitative measures of drought tolerance such as mean productivity (MP), tolerance index (TOL), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HM), stress susceptibility index (SSI) and stress tolerance index (STI), were computed. The Analysis of variance showed that the highest potential and stress yield were related to the genotypes 4 and 12, respectively. The highest stress tolerance index (STI), mean productivity (MP), tolerance index (TOL), geometric mean productivity (GMP) and harmonic mean (HM) were related to the genotypes 4, 6 and 1. In both stressed and non-stressed conditions, correlation analysis between yield and all indices revealed that STI is the best indice for screening of drought tolerant genotypes. Cluster analysis for yield in stressed (y_s) and non-stressed (y_p) environments and grouped drought tolerance quantitative indices in three groups. Factor analysis based on principal component analysis method indicated that two important factors justified 99.9 (first factor assigned 74.26% and two factor assigned 25.64%) percent of the total variation among traits in drought and non-drought stress conditions.

Keywords: Bread wheat, Correlation, Cluster Analysis, Drought Resistance Indices, Grain yield

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-03]