ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های گندم

معصومه یوسفی‌آذر و عبدالمجید رضایی[۱*]

(تاریخ دریافت: ۸۴/۱۲/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۵/۹)

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی پتانسیل تحمل به خشکی در ۲۳ لاین $F_{7:4}$ گندم حاصل از تلاقی دو رقم ویرمارین (حساس به خشکی) و سرداری (مقاوم به خشکی) انجام شد. آزمایش در قالب دو طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در دو سطح آبیاری پس از ۳±۷۰ و ۳±۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A در سال ۱۳۸۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا گردید. شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی برای عملکرد محاسبه و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز بر اساس آنها انجام شد. شاخص تحمل هامبلین و رزیل با شاخص حساسیت به خشکی فیشر و مورر هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری داشت. هم‌بستگی این دو شاخص با عملکرد در شرایط تنش و مؤلفه اصلی اول منفی بود. مقدار بالای این مؤلفه ژنوتیپ‌های با حساسیت کم را معرفی کرد. هم‌بستگی مؤلفه اول با شاخص‌های میانگین تولید، میانگین هندسی عملکرد، شاخص تحمل به تنش و میانگین هارمونیک عملکرد، مثبت و بالا بود. ژنوتیپ شماره ۲ در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی داشت و با وجود حساسیت بالایی که به تنش نشان داد، از نظر این شاخص‌ها به‌عنوان ژنوتیپ برتر معرفی شد. ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۷، ۱۱ و ۱۴ عملکرد بالایی در شرایط تنش داشتند و از نظر شاخص‌ها نیز به‌عنوان ژنوتیپ برتر معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های تحمل، گندم، مولفه‌های اصلی، هم‌بستگی صفات

مقدمه

تنش خشکی از پدیده‌های اقلیمی رایج در طبیعت می‌باشد و محدود کننده رشد تمام گیاهان است و کمتر گیاهی به‌طور کامل از آن اجتناب می‌کند (۴). اکثر محصولات زراعی در مراحل مختلف رشد و نمو با نوعی تنش آب مواجه می‌شوند و تغییرات روزانه در وضعیت داخلی آب خود را حتی در شرایط آبیاری معمول نیز نشان می‌دهند (۲). کولاکو و همکاران (۱۰) در حدود ۴۵ درصد کاهش در عملکرد گندم را در اثر تنش گزارش نمودند.

هر چه اقلیم خشک‌تر باشد، نوسانات مقدار و توزیع بارندگی آن بیشتر است، به‌طوری‌که سال‌های کم‌باران و سال‌های مرطوب‌تر از حد متوسط به‌طور متناوب حادث می‌شوند. بنابراین باید ارقامی را برای این مناطق انتخاب کرد که بتوانند در سال‌های کم‌باران، عملکرد مقرون به‌صرفه و پایداری تولید کنند، تحمل به خشکی نشان دهند و در شرایط مساعد رطوبتی نیز بتوانند حداکثر استفاده را از رطوبت ذخیره شده در

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: am.rezai@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.10.9]

خاک ببرند (۱۲). حتی در شرایط آب وهوای مرطوب، توزیع نامنظم بارندگی منجر به محدود شدن آب قابل دسترس و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود(۵). کلهون و همکاران (۱۱) گزارش نمودند که در گندم ارزیابی هم‌زمان در شرایط تنش و غیرتنش موجب گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد برتر در هر دو محیط می‌شود. بنابراین بررسی صفات مختلف و از جمله عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و غیرتنش به‌عنوان یک نقطه شروع برای شناخت فرایند تحمل به خشکی و انتخاب ژنوتیپ‌ها برای اصلاح در محیط‌های خشک است (۴).

فیشر و مورر (۱۲) اظهار داشتند که عملکرد بالا در شرایط تنش، یا ناشی از مکانیسم فرار از خشکی است یا منتج از سازگاری رقم به‌علت فرایندهای خاص در شرایط تنش است که باعث تحمل به خشکی می‌شود. بنابراین معیاری را براساس عملکرد و ثبات آن برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها از لحاظ واکنش به تنش خشکی پیشنهاد کردند. این معیار به‌عنوان شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index, SSI) بر مبنای عملکردهای محیط تنش و غیرتنش، مطرح شد. بین این شاخص و عملکرد در شرایط با رطوبت بالا هم‌بستگی منفی وجود دارد.

ریزا و همکاران (۱۳) از شاخص حساسیت به تنش فیشر و مورر (۱۲) در جو استفاده کردند. آنها ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های مختلف براساس عملکرد از بزرگ به کوچک مرتب و مشاهده کردند که هشت ژنوتیپ برتر در هر دو محیط عملکرد پایدار و بالایی داشتند. هم‌چنین آنها با تعیین پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص حساسیت به تنش در برابر عملکرد نسبی در هر محیط مشاهده نمودند که این هشت ژنوتیپ برتر در ناحیه‌ای قرار گرفتند که حساسیت کمتر ولی عملکرد نسبی بیشتری در شرایط تنش داشتند.

بانسال و سینها (۸) با مطالعه گونه‌های مختلف گندم گزارش نمودند که شاخص حساسیت به خشکی فیشر و مورر (۱۲) در یک رقم گندم نان از بقیه ارقام کمتر و در حدود ۰/۳۷ بود، در حالی‌که بیشترین میزان آن به گندم تورژیدوم و به‌میزان ۱/۰۵ تعلق داشت. بنابراین علاوه بر این‌که بین ارقام یک گونه از نظر حساسیت یا تحمل به خشکی تفاوت وجود دارد، این اختلاف بین گونه‌ها نیز مشهود است.

هامبلین و رزیل (۱۴) براساس شاخص تحمل (Tolerance, TOL) یا تفاوت عملکرد دو ژنوتیپ در دو محیط معمول و تنش و متوسط تولید (Mean Productivity, MP) یا میانگین عملکرد هر ژنوتیپ در دو محیط معمول و تنش بیان کردند که مقدار بالای TOL نشان دهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش است. به‌نظر می‌رسد ارقامی که در شرایط آبیاری مناسب و آبیاری محدود عملکرد یکسانی داشته باشند و یا لااقل تفاوت عملکرد آنها کم باشد، نسبت به خشکی تحمل نسبی دارند (۴). اسماعیل زاده (۱) گزارش کرد که میانگین عملکرد، میانگین هندسی و شاخص تحمل به تنش در تشخیص ژنوتیپ‌های گندم متحمل به تنش خشکی کارایی بیشتری را نسبت به دو شاخص حساسیت به تنش و تحمل دارند و در بین آنها شاخص تحمل به تنش از قابلیت بیشتری در تمایز ارقام برخوردار است. زارع فیض‌آبادی و قدسی (۱۶) گزارش نمودند که شاخص حساسیت به تنش تمایز معنی‌داری را بین ۲۰ ژنوتیپ گندم ایجاد نموده است.

شاخص‌های متعددی برای تعیین تحمل به تنش ارائه شده‌اند، ولی به‌طور کلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و عدم تنش دارای هم‌بستگی بالایی با عملکرد باشند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر محیط هستند و می‌توان از آنها برای تخمین پایداری عملکرد استفاده کرد (۸). انتخاب بر اساس این شاخص‌ها عملکرد را در محیط‌های تنش افزایش می‌دهد.

فرناندز (۱۱) در سال ۱۹۹۲ ژنوتیپ‌های ماش را به گروه‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش (A)، عملکرد بالا در شرایط غیرتنش (B)، عملکرد بالا در شرایط تنش (C) و عملکرد پایین در هر دو محیط (D)، تقسیم کرد. وی بیان کرد که انتخاب براساس شاخص‌های TOL و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.10.9]

MP ژنوتیپ‌های گروه‌های B و D را تفکیک می‌کند. انتخاب بر اساس شاخص MP باعث افزایش عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش می‌شود و این شاخص نمی‌تواند گروه A را از B تشخیص دهد. شاخص متوسط تولید نیز باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی دارند ولی تحمل آنها به تنش پایین است (۴ و ۱۴). هنگامی‌که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش موجود باشد، شاخص MP دارای اریبی به‌سمت عملکرد در شرایط غیرتنش می‌شود؛ بنابراین برای رفع این مشکل شاخص میان هندسی عملکرد(GMP) , (Geometric Mean Productivity) که بر اساس میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود، توسط فرناندز (۱۱) ارائه گردید. از آنجایی‌که این شاخص به مقادیر متفاوت عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش حساسیت کمتری دارد، فرناندز شاخص دیگری به نام شاخص تحمل به تنش (Strss Tolerance Index, STI) را به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش و دارای پتانسیل تحمل به معرفی کرد که می‌تواند گروه‌های B و C را از یکدیگر تفکیک کند. این شاخص شدت تنش (Stress Intensity, SI) (تفاضل نسبت متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تنش به متوسط عملکرد در محیط بدون تنش از یک) و مقادیر عملکرد در دو محیط را در نظر می‌گیرد و می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر ژنوتیپ‌ها تفکیک نماید و بنابراین شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های محتمل به تنش می‌باشد. در تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش مقدار بالای GMP و STI مورد نظر است.

این مطالعه به‌منظور مقایسه شاخص‌های متفاوت تحمل و حساسیت به خشکی و هم‌چنین گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص‌ها طرح‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان انجام شد. منطقه آزمایش دارای اقلیم خشک و بسیار گرم است. خاک مزرعه دارای بافت لوم رسی، جرم مخصوص ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و pH= ۶/۷ می‌باشد.

ژنوتیپ‌های مورد بررسی شامل ۲۳ لاین $F_{2:4}$ گندم حاصل از تلاقی دو رقم ویرمارین (Virmarin) حساس به خشکی و سرداری مقاوم به خشکی بودند. این لاین‌ها حاصل گزینش تک بوته F_2 و تکثیر دسته‌جمعی آنها در نسل F_3 می‌باشند.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها در زمینی که سال قبل زیر کشت یونجه بود، به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در هر یک از شرایط آبیاری متداول و آبیاری محدود (به‌ترتیب پس از ۳±۷۰ و ۳±۱۲۰میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل ۴ ردیف به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و طول ۲ متر با تراکم کاشت ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. قبل از کاشت بذور با قارچ‌کش مانکوزب به‌میزان ۳ در هزار ضدعفونی شدند. بعد از آماده‌سازی زمین به‌منظور تأمین نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاه معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم قبل از کاشت به خاک اضافه شد. کشت در تاریخ ۱۵ آبان ۱۳۸۲ انجام شد. بلافاصله بعد از کاشت آبیاری اول انجام گرفت. در مرحله پنجه‌دهی و ساقه‌دهی نیز معادل ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره جهت تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه به‌صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت. در طول دوره رشد مبارزه با علف‌های هرز به‌طور کامل و به‌صورت دستی انجام شد. برای اعمال آبیاری محدود در بهار، هر روز مقدار تبخیر از تشت تبخیر کلاس A اندازه‌گیری و آبیاری در هر تیمار رطوبتی پس از رسیدن تبخیر به‌حد مورد نظر انجام شد.

شاخص‌های زیر برای ارزیابی واکنش آنها نسبت به تنش خشکی محاسبه شدند.

۱- شاخص تحمل (TOL) روزیل و هامبلین (۱۴):

$$TOL = Y_p - Y_s$$

در این رابطه Y_p و Y_s به‌ترتیب عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی می‌باشند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.10.9]

۲- شاخص میانگین تولید (MP) روزیل و هامبلین (۱۴):

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$$

۳- شاخص حساسیت به خشکی (SSI) فیشر و مورر (۱۲):

$$SSI = \frac{1 - \frac{Y_{si}}{Y_{p_i}}}{SI} \qquad SI = 1 - \frac{\overline{Y}_s}{\overline{Y}_p}$$

در این رابطه $\overline{Y_s}$ و $\overline{Y_p}$ به‌ترتیب میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و غیرتنش می‌باشند.

۴- میانگین هندسی عملکرد در دو محیط (GMP):

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$$

۵- شاخص تحمل به تنش (STI) فرناندز (۱۱):

$$STI = \frac{Y_p}{\overline{Y}_p} \times \frac{Y_s}{\overline{Y}_s} \times \frac{\overline{Y}_s}{\overline{Y}_p} = \frac{Y_p \times Y_s}{(\overline{Y}_p)^2}$$

۶- میانگین هارمونیک عملکرد در دو محیط (Harmonic Mean, HM):

$$HM = \frac{2 \times Y_p \times Y_s}{Y_p + Y_s}$$

ژنوتیپ‌های مورد بررسی براساس روش فرناندز (۱۱) از نظر پتانسیل عملکرد و تحمل در چهار گروه A، B، C و D طبقه‌بندی شدند. این چهار گروه، در نمودار سه‌بعدی برحسب عملکرد در شرایط تنش (Y_S)، عملکرد در شرایط بدون تنش (Y_P) و شاخص تحمل به تنش (STI) تعیین گردید. پراکنش ژنوتیپ‌ها در این نمودار به کمک نرم‌افزار Sigma Plot (SPW) تعیین شد.

نتایج و بحث

ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۵ دارای بیشترین میزان شاخص تحمل (TOL) و حساسیت به خشکی (SSI) بودند (جدول ۱). مقادیر بالای شاخص TOL و SSI حساسیت بیشتر به تنش رطوبتی را نشان می‌دهد. بنابراین ژنوتیپ‌ها بر اساس مقدار کم TOL انتخاب می‌شوند، زیرا در این‌صورت ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کاهش عملکرد کمتری نسبت به شرایط غیرتنش خواهند داشت (۱۴). فرناندز (۱۲) اظهار داشت که انتخاب بر مبنای این شاخص به‌نفع ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در شرایط غیرتنش و ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش رطوبتی است. این شاخص در تمایز ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا کارآیی ندارد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۸ و ۲۱ که مقادیر کمتری از این دو شاخص را داشتند و به عبارت دیگر حساسیت کمتری به تنش نشان دادند، از نظر عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش، جزو برترین ژنوتیپ‌ها نبودند. آکوستا و آدامز (۷) اظهار داشتند که انتخاب بر اساس SSI زمانی مؤثر است که محیط آزمایش دارای شرایط خشکی باشد. مقدار کمتر SSI تغییرات کمتر عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و پایداری بیشتر آن را نشان می‌دهد (۱۲).

ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۴ بالاترین مقادیر متوسط تولید (MP)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) و شاخص تحمل به تنش (STI) را داشتند و ژنوتیپ شماره ۱۲ کمترین میزان این شاخص‌ها را دارا بود (جدول ۱). ژنوتیپ شماره ۲ بیشترین عملکرد در شرایط غیرتنش را داشت. این ژنوتیپ حساسیت به تنش کمتری نسبت به ژنوتیپ شماره ۲ داشت، در حالی‌که ژنوتیپ شماره ۲ جزو ژنوتیپ‌های حساس به تنش محسوب گردید. با توجه به شاخص TOL ژنوتیپ ۲ بیشترین کاهش عملکرد را در بین ژنوتیپ‌ها در اثر تنش به‌خود اختصاص داد؛ در حالی‌که ژنوتیپ شماره ۴ کاهش عملکرد کمتری نسبت به ژنوتیپ ۲ دارا بود (جدول ۱). بنابراین به‌نظر می‌رسد می‌توان از ژنوتیپ شماره ۲ با چند سال ارزیابی و انتخاب در شرایط تنش لاین‌های متحمل را معرفی نمود.

فرناندز (۱۱) اظهار داشت که شاخص STI قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش رطوبتی است. ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۷،۱۱ و ۱۴ عملکرد بالایی در شرایط تنش داشتند و از نظر شاخص‌های TOL و SSI جزو ژنوتیپ‌های با حساسیت کم بودند. این ژنوتیپ‌ها از نظر سایر شاخص‌ها نیز برتری نشان دادند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

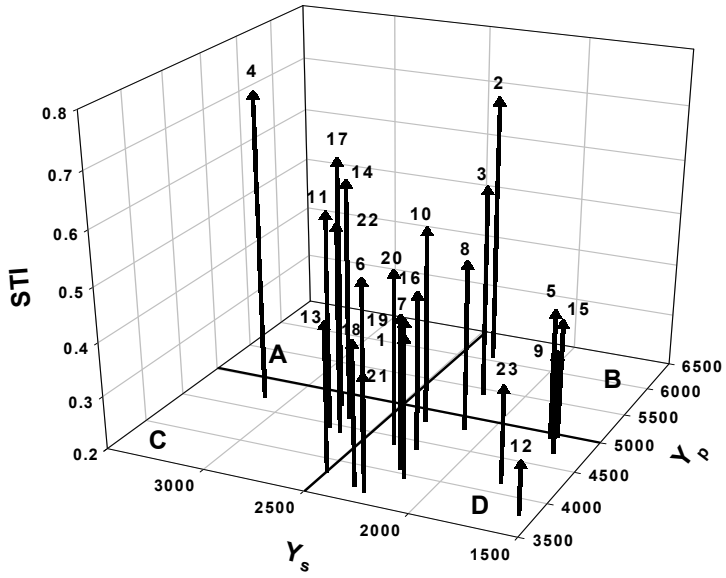
[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.10.9]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.10.9] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ۱. رتبه و مقایسه میانگین‌های عملکرد در شرایط تنش رطوبتی (Y_S) و بدون تنش (Y_ρ) و شاخص‌های تحمل به خشکی در ۲۳ لاین گندم

ژنوتیپ	Y_ρ (kg/h)	Y_S(kg/h)	TOL	MP	GMP	SSI	STI	HM
۱	۳۹۵۲ ^{cd}(۱۹)	۲۱۶۰ $^{b-e}$(۱۷)	۱۷۹۲^{de}(۱۶)	۳۰۵۶$^{c-e}$(۱۹)	۲۸۷۴$^{c-g}$(۱۸)	۰/۸۸$^{a-f}$(۱۴)	۰/۴۵$^{c-f}$(۱۷)	۲۷۱۵$^{b-e}$(۱۷)
۲	۶۰۷۰^{a} (۱)	۲۳۲۶ $^{b-e}$(۹)	۳۷۴۴^{a} (۱)	۴۱۹۸^{a}(۱)	۳۷۴۶^{ab}(۲)	۱/۲۶^{ab}(۳)	۰/۷۰^{ab}(۲)	۳۳۴۸^{ab}(۴)
۳	۵۴۱۳^{ab} (۲)	۲۱۹۵ $^{b-e}$(۱۶)	۳۲۱۸ $^{a-c}$ (۳)	۳۸۰۴$^{a-c}$(۳)	۳۴۴۶$^{a-e}$(۶)	۱/۲۲$^{a-d}$(۵)	۰/۵۹$^{a-e}$ (۶)	۳۱۲۱$^{a-d}$(۷)
۴	۴۷۰۷$^{b-d}$ (۹)	۳۱۲۷^{a}(۱)	۱۵۸۰^{e} (۲۰)	۳۹۱۷^{ab}(۲)	۳۸۲۰^{a}(۱)	۰/۶۶^{ef}(۲۱)	۰/۷۶^{a}(۱)	۳۷۲۸^{a}(۱)
۵	۴۹۶۱ $^{a-c}$ (۳)	۱۶۹۶ ^{de}(۵)	۳۲۶۵^{ab} (۲)	۳۳۲۸$^{b-e}$(۱۱)	۲۸۷۲$^{c-g}$(۱۹)	۱/۳۰^{a}(۲)	۰/۴۱$^{d-f}$(۱۹)	۲۴۹۲$^{c-e}$(۲۰)
۶	۴۱۹۶ ^{cd}(۱۵)	۲۴۳۸ $^{a-d}$(۷)	۱۷۵۸^{de} (۱۸)	۳۳۱۷$^{b-e}$(۱۳)	۳۱۸۸$^{a-f}$(۹)	۰/۸۳$^{a-f}$(۱۶)	۰/۵۱$^{b-f}$(۱۰)	۳۰۶۵$^{a-d}$(۹)
۷	۴۰۶۵^{cd} (۱۸)	۲۲۱۱ $^{b-e}$(۱۵)	۱۸۵۴$^{c-e}$ (۱۵)	۳۱۳۸$^{c-e}$(۱۸)	۲۹۷۱$^{c-g}$(۱۵)	۰/۹۰$^{a-f}$(۱۳)	۰/۴۷$^{b-f}$(۱۳)	۲۸۱۸$^{b-e}$(۱۶)
۸	۴۸۱۶$^{b-d}$ (۶)	۲۱۲۰ $^{b-e}$(۱۸)	۲۶۹۶$^{a-e}$(۶)	۳۴۶۸$^{a-d}$(۹)	۳۱۷۶$^{a-f}$(۱۱)	۱/۱۲$^{a-e}$(۸)	۰/۵۱$^{b-f}$(۱۱)	۲۹۱۳$^{b-e}$(۱۳)
۹	۴۷۱۲ $^{b-d}$(۸)	۱۶۵۵ ^{de}(۲۲)	۳۰۵۷$^{a-d}$ (۵)	۳۱۸۳$^{b-e}$(۱۵)	۲۷۲۱$^{e-g}$(۲۱)	۱/۲۴$^{a-c}$(۴)	۰/۳۸^{ef}(۲۱)	۲۳۶۱^{de}(۲۲)
۱۰	۴۸۲۰$^{b-d}$(۵)	۲۳۱۷ $^{b-e}$(۱۱)	۲۵۰۳$^{a-e}$(۷)	۳۵۶۸$^{a-d}$(۷)	۳۳۳۱$^{a-f}$(۸)	۱/۰۷$^{a-f}$(۹)	۰/۵۶$^{a-e}$(۸)	۳۱۱۱$^{a-d}$(۸)
۱۱	۴۴۴۶ $^{b-d}$(۱۱)	۲۶۹۲ ^{ab}(۳)	۱۷۵۴^{de}(۱۹)	۳۵۶۹$^{a-d}$(۶)	۳۴۴۸$^{a-e}$(۵)	۰/۷۷$^{c-f}$(۱۹)	۰/۵۹$^{a-e}$(۵)	۳۳۳۳^{ab}(۵)
۱۲	۳۷۷۴ ^{cd}(۲۱)	۱۵۶۸ ^{e}(۲۳)	۲۲۰۶$^{b-e}$(۹)	۲۶۷۱^{e}(۲۳)	۲۴۲۹^{g}(۲۳)	۱/۱۹$^{a-d}$(۶)	۰/۲۹^{f}(۲۳)	۲۲۱۰^{e}(۲۳)
۱۳	۳۸۱۱ ^{cd}(۲۰)	۲۴۹۲ $^{a-c}$(۶)	۱۳۱۹^{e}(۲۳)	۳۱۵۲$^{c-e}$(۱۷)	۳۰۶۰$^{b-g}$(۱۳)	۰/۶۱^{f}(۲۳)	۰/۴۷$^{b-f}$(۱۴)	۲۹۷۳$^{a-e}$(۱۱)
۱۴	۴۶۴۰$^{b-d}$ (۱۰)	۲۶۵۵ ^{ab}(۴)	۱۹۸۴$^{b-e}$(۱۳)	۳۶۴۷$^{a-d}$(۵)	۳۵۰۵$^{a-d}$(۴)	۰/۸۷$^{a-f}$(۱۵)	۰/۶۳$^{a-d}$(۴)	۳۳۷۰^{ab}(۳)
۱۵	۴۹۲۱ $^{a-c}$(۴)	۱۷۲۳ $^{c-e}$(۲۰)	۳۱۹۸$^{a-c}$(۴)	۳۳۲۲$^{b-e}$(۱۲)	۲۸۸۹$^{c-g}$(۱۷)	۱/۳۰^{a}(۱)	۰/۴۳$^{c-f}$(۱۸)	۲۵۲۱$^{c-e}$(۱۹)
۱۶	۴۳۷۷ $^{b-d}$(۱۴)	۲۲۲۷ $^{b-e}$(۱۳)	۲۱۴۹$^{b-e}$(۱۰)	۳۳۰۲$^{b-e}$(۱۴)	۳۱۱۵$^{a-g}$(۱۲)	۰/۹۸$^{a-f}$(۱۰)	۰/۴۸$^{b-f}$(۱۲)	۲۹۴۱$^{a-e}$(۱۲)
۱۷	۴۸۰۵ $^{b-d}$(۷)	۲۷۵۲ ^{ab}(۲)	۲۰۵۳$^{b-e}$(۱۱)	۳۷۷۹$^{a-c}$(۴)	۳۵۹۶$^{a-c}$(۳)	۰/۸۰$^{b-f}$(۱۸)	۰/۶۶$^{a-c}$(۳)	۳۴۲۷^{ab}(۲)
۱۸	۳۷۰۵ ^{d}(۲۲)	۲۳۲۴ $^{b-e}$(۱۰)	۱۳۸۲^{e}(۲۲)	۳۰۱۵^{de}(۲۰)	۲۹۳۱$^{c-g}$(۱۶)	۰/۷۵$^{d-f}$(۲۰)	۰/۴۶$^{c-f}$(۱۶)	۲۸۵۰$^{b-e}$(۱۵)
۱۹	۴۱۴۵ ^{cd}(۱۷)	۲۲۱۹ $^{b-e}$(۱۴)	۱۹۲۶$^{b-e}$(۱۴)	۳۱۸۲$^{b-e}$(۱۶)	۳۰۱۰$^{b-g}$(۱۴)	۰/۹۵$^{a-f}$(۱۱)	۰/۴۶$^{c-f}$(۱۵)	۲۸۵۱$^{b-e}$(۱۴)
۲۰	۴۳۹۴$^{b-d}$ (۱۳)	۲۳۴۶ $^{a-e}$(۸)	۲۰۴۷$^{b-e}$(۱۲)	۳۳۷۰$^{b-e}$(۱۰)	۳۱۸۷$^{a-f}$(۱۰)	۰/۹۱$^{a-f}$(۱۲)	۰/۵۱$^{b-f}$(۹)	۳۰۱۹$^{a-d}$(۱۰)
۲۱	۳۶۵۶ ^{d}(۲۳)	۲۲۶۰ $^{b-e}$(۱۲)	۱۳۹۶^{e}(۲۱)	۲۹۵۸^{de}(۲۱)	۲۸۳۰$^{d-g}$(۲۰)	۰/۶۵^{ef}(۲۲)	۰/۴۱$^{d-f}$(۲۰)	۲۷۱۳$^{b-e}$(۱۸)
۲۲	۴۴۰۰ $^{b-d}$(۱۲)	۲۶۲۴ ^{ab}(۵)	۱۷۷۶^{de}(۱۷)	۳۵۱۲$^{a-d}$(۸)	۳۳۹۱$^{a-f}$(۷)	۰/۸۳$^{a-f}$(۱۷)	۰/۵۸$^{a-e}$(۷)	۳۲۷۶$^{a-c}$(۶)
۲۳	۴۱۵۱ ^{cd}(۱۶)	۱۷۵۵ $^{c-e}$(۱۹)	۲۳۹۶$^{a-e}$(۸)	۲۹۵۳^{de}(۲۲)	۲۶۹۵^{fg}(۲۲)	۱/۱۸$^{a-d}$(۷)	۰/۳۷^{ef}(۲۲)	۲۴۶۱^{de}(۲۱)

* : اعداد داخل پرانتز مربوط به رتبه ژنوتیپ‌ها می‌باشند.



شکل ۱. پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکـرد در محیط تنش خشکی (Ys) و بدون تنش (Yp) و شاخص تحمل به تنش (STI)

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، شاخص متوسط تولید (MP) ژنوتیپ شماره ۳ را جزو سه ژنوتیپ برتـر معرفـی کرده است، در حالی‌که این ژنوتیپ عملکرد بالایی را در شرایط تنش نداشـت و از نظـر شـاخص‌هـای TOL و SSI نیـز جـزو ژنوتیپ‌های حساس محسوب مـی‌شـود. فرانـدز (۸) شـاخص متوسط تولید را جـزو شاخص‌هـای بـا کـارایی پـایین معرفـی نمود، زیرا این شاخص نمی‌توانـد ژنـوتیپ‌هـای متحمـل و بـا عملکرد بالا را به‌طور هم‌زمان در محـیط‌هـای تـنش رطـوبتی و غیرتنش، متمـایز سـازد. هـم‌چنـین او بیـان کـرد کـه شـاخص میانگیـن هندسـی عملکـرد کمتـر تحـت تـأثیر ارزش نهـایی صـفات اسـت و مـی‌توانـد ژنوتیـپ‌هـای گـروه A را از بقیـه ژنوتیپ‌ها متمایز کند.

پراکنش ژنوتیـپ‌هـا بـر اسـاس عملکـرد در شـرایط تـنش رطوبتی (Y_S) و بـدون تـنش (Y_P) بـه‌همـراه شـاخص STI در نمودار سه بعدی (شکل ۱) نشان داده شده است. هـیچ کـدام از ژنوتیپ‌ها در گروه A قرار نگرفتند. ژنوتیپ‌هـای شـماره ۲ و ۳ در گروه B قـرار گرفتنـد کـه ژنوتیـپ شـماره ۲ از میـزان STI بالاتری برخوردار بود.در گروه C، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۷ و ۲۲ قرار گرفتند که از میان آنها ژنوتیپ شـماره ۴ از تحمل به تنش بالاتری برخوردار بود و بقیـه ژنوتیـپ‌هـا نیـز تحمل به تنش نسبتاً خوبی داشتند. سایر ژنوتیپ‌ها در گـروه D قرار گرفتند که در بین آنها ژنوتیپ‌های شـماره ۲۰ و ۱۰ دارای تحمل به تنش متوسطی بودنـد و بقیـه از میـزان پـایینی از ایـن شاخص برخوردار بودند (شکل ۱).

نورمند مؤید و همکاران (۶) در بررسی گندم نان در شرایط تنش خشکی و بدون تنش، با رسم نمودار سـه بعـدی عملکـرد ارقام در هر دو محیط و شاخص‌های GMP و STI، نشان دادند ژنوتیپ‌هایی که در گـروه A قـرار داشـتند، دارای STI و GMP بالایی نیز بودند و این دو شاخص را به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی کردند.

هم‌بستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد

شاخص TOL با SSI هم‌بستگی مثبـت و معنـی‌داری در سـطح احتمال ۱ درصد داشت (جدول ۲). بنابه اظهار روزبل و همبلین (۱۴) در اغلب آزمایش‌ها هم‌بستگی بین این دو شاخص مثبـت بوده است و انتخاب بر اساس شاخص SSI به‌نفع ژنوتیـپ‌هـای با پتانسیل عملکرد پایین در شرایط بـدون تـنش و بـا عملکـرد بـــالا در شـــرایط تـــنش مـــی‌باشـــد. شـــاخص MP بـــا

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.10.9]

جدول ۲. هم‌بستگی بین شاخص‌های* ارزیابی تحمل و حساسیت به تنش خشکی

شاخص	TOL	MP	GMP	SSI	STI	HM	Y_ρ	Y_S
TOL	۱	۰/۳۷	۰/۰۴	۰/۹۲**	۰/۰۰۴	−۰/۲۳	۰/۸۲**	−۰/۵۳**
MP		۱	۰/۹۴**	۰/۰۵	۰/۹۲**	۰/۸۱**	۰/۸۴**	۰/۶۰**
GMP			۱	۰/۲۸	۰/۹۹**	۰/۹۶**	۰/۶۰**	۰/۸۲**
SSI				۱	−۰/۳	−۰/۵۰*	۰/۵۷**	−۰/۷۶**
STI					۱	۰/۹۶**	۰/۵۷**	۰/۸۴**
HM						۱	۰/۳۷	۰/۹۴**
Y_ρ							۱	−۰/۱۳
Y_S								1

ضرایب هم‌بستگی با قدر مطلق بیش از ۰/۴۱ در سطح احتمال ۵٪ و بیشتر از ۰/۵۳ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشند.

* : TOL تحمل به تنش, MP متوسط تولید، GMP میانگین هندسی عملکرد، SSI شاخص حساسیت به تنش، STI شاخص تحمل به تنش، HM میانگین هارمونیک، Y_ρ عملکرد در شرایط بدون تنش و Y_S عملکرد در شرایط تنش می‌باشند.

شاخص‌های GMP، STI و HM هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. شاخص GMP نیز با شاخص‌های STI و HM هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. شاخص SSI با شاخص HM هم‌بستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. هم‌بستگی شاخص STI با شاخص HM مثبت و بسیار معنی‌دار بود. شاخص‌های تحمل، متوسط تولید، میانگین هندسی عملکرد، حساسیت به تنش، شاخص تحمل و هم‌چنین میانگین هارمونیک هم‌بستگی بسیار معنی‌داری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تنش و بدون تنش داشتند. هم‌بستگی شاخص‌های TOL و SSI با عملکرد شرایط تنش منفی بود، بنابراین با افزایش عملکرد در شرایط تنش، میزان این دو شاخص کاهش می‌یابد.

فرشادفر و همکاران (۴) در مطالعه‌ای روی نخود هم‌بستگی تمام شاخص‌ها را با عملکرد در شرایط غیرتنش مثبت و معنی‌دار و هم‌بستگی شاخص TOL را با عملکرد در شرایط تنش منفی و غیر معنی‌دار گزارش کردند. نورمند مؤید و همکاران (۶) نیز در گندم هم‌بستگی شاخص‌های GMP و STI را با عملکرد مثبت و معنی‌دار گزارش کردند. شفازاده و همکاران (۳) در بررسی ژنوتیپ‌های گندم، هم‌بستگی مثبت و بسیار معنی‌داری را بین عملکرد در محیط تنش و شاخص‌های MP، GMP و STI و هم‌چنین هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری را بین عملکرد در محیط غیرتنش و تمام شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی گزارش کردند. آنها بیان کردند که هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌ها و عملکرد در هر دو شرایط تنش و غیرتنش، مناسب بودن این شاخص‌ها را برای ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد. انتخاب برای تحمل، عملکرد را در محیط تنش افزایش می‌دهد، چون هم‌بستگی ژنتیکی بین تحمل و عملکرد در محیط تنش مثبت است (۱۱).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

طبق نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (جدول ۳) دو مؤلفه اول بیشترین درصد تغییرات داده‌ها (۹۹/۳ درصد) را توجیه کردند. مؤلفه اول با شاخص‌های SSI و TOL هم‌بستگی منفی و با عملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش و سایر شاخص‌ها هم‌بستگی مثبتی داشت. مؤلفه دوم ۳۷/۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد (جدول ۳). این مؤلفه نیز با شاخص‌های SSI و TOL هم‌بستگی منفی داشت و هم‌بستگی آن با عملکرد در شرایط تنش مثبت بود. بنابراین برای شناسایی لاین‌های

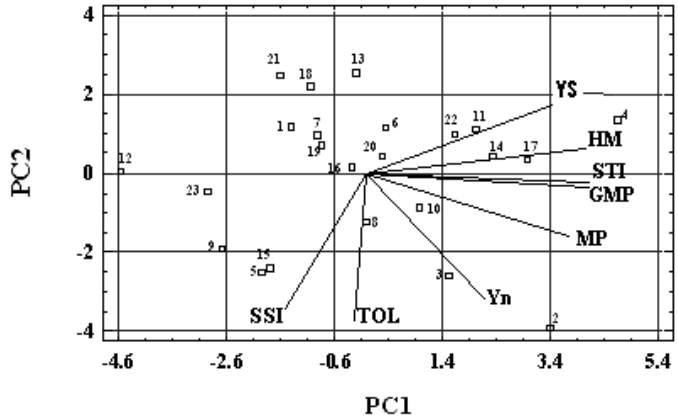
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.10.9]

جدول۳ . مقادیر ویژه و بردارهای ویژه مؤلفه‌های اول و دوم برای ۸ شاخص تحمل و حساسیت به خشکی*

مؤلفه	مقادیر ویژه	سهم تجمعی	Y_N	Y_S	TOL	MP	GMP	SSI	STI	HM
۱	۴/۹۳	۶۱/۷	۰/۲۴	۰/۳۹	−۰/۰۳	۰/۴۱	۰/۴۵	−۰/۱۶	۰/۴۵	۰/۴۴
۲	۳/۰۱	۹۹/۳	−۰/۴۹	۰/۲۸	−۰/۵۷	−۰/۲۴	−۰/۰۵	−۰/۵۳	−۰/۰۴	۰/۱۰

*: Y_N عملکرد در شرایط بدون تنش، Y_S عملکرد در شرایط تنش، TOL تحمل به تنش, MP متوسط تولید، GMP میانگین هندسی عملکرد، SSI شاخص حساسیت به تنش، STI شاخص تحمل به تنش و HM میانگین وزنی می‌باشند.



شکل۲. نمایش بای پلات ۲۳ ژنوتیپ گندم بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC) حاصل از ۸ شاخص تحمل و حساسیت به خشکی

*** : Y_N عملکرد در شرایط بدون تنش، Y_S عملکرد در شرایط تنش، TOL تحمل به تنش, MP متوسط تولید، GMP میانگین هندسی عملکرد، SSI شاخص حساسیت به تنش، STI شاخص تحمل به تنش و HM میانگین وزنی می‌باشند.**

متحمل باید به مقدار بالای هر دو مؤلفه یعنی ناحیه سمت راست و بالای نمودار بای پلات توجه کرد (شکل ۲). در این ناحیه ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۷، ۱۴، ۱۱ و ۲۲ قرار دارند. این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط تنش جزو ژنوتیپ‌های برتر بودند (جدول ۳). با توجه به هم‌بستگی منفی مؤلفه دوم با عملکرد در شرایط غیرتنش، میزان پایین این مؤلفه و میزان بالای مؤلفه اول ژنوتیپ شماره ۲ را به‌عنوان لاین متحمل معرفی کرد، در حالی که این ژنوتیپ از نظر شاخص‌های SSI و TOL به‌عنوان ژنوتیپ حساس معرفی شد و تنها در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی داشت. به‌هر حال این ژنوتیپ نیز جزو لاین‌های برتر از نظر شاخص‌های MP، GMP، STI و HM بود (جدول ۳). ژنوتیپ‌های حساس که دارای SSI و TOL بالا و STI پایینی هستند (ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، ۲۳، ۹، ۵ و ۱۵) در ناحیه مجاور مرکز مختصات (شکل ۲) مشخص می‌باشند. در نهایت زوایای بین خطوط مؤلفه‌ها (شکل ۲) نیز هم‌بستگی شاخص‌ها را نشان می‌دهد که تأییدی بر نتایج جدول ۲ است.

منابع مورد استفاده

۱. اسماعیل‌زاده مقدم، م. ۱۳۸۳. تجزیه و تحلیل ژنتیکی برای تحمل به خشکی و صفات مرتبط با آن در چند رقم گندم نان. پایان‌نامه دکتری اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.10.9]

۲. رحیمیان، ح. و م. بنائیان. ۱۳۷۵. *مبانی فیزیولوژیکی اصلاح نباتات (ترجمه)*. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۳. شفازاده، م.، ا. یزدان سپاس، ا. امینی و م. ر. قنادها. ۱۳۸۳. بررسی تحمل به خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم زمستانه و بینابین با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش. مجله نهال و بذر ۲۰(۱):۵۷-۷۱.

۴. فرشادفر، ع.، م. زمانی، م. مطلبی و ع. امام‌جمعه. ۱۳۸۰. انتخاب برای مقاومت به خشکی در لاین‌های نخود. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۲(۱):۶۵-۷۷.

۵. کافی، م.، ا. زند، ب. کامکار، ح.ر. شریفی و م. گلدانی. ۱۳۷۹. *فیزیولوژی گیاهی*. جلد دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۶. نورمند مؤید، ف.، م. ع. رستمی و م. ر. قنادها. ۱۳۸۰. ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی در گندم نان. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۲(۴): ۷۹۵-۸۰۵.

7. Acosta – Gollegos, J. A. and M. W. Adams. 1991. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseoulus vulgaris*) cultivars under drought stress. J. Agric. Sci. Camb. 117: 213-219.
8. Bansal, K. C. and S. K. Sinha. 1991. Assessment of drought resistance in 20 accessions of *Triticum aestivum* and related species. I. Total dry matter and grain yield stability. Euphytica 56: 7-14.
9. Calhoun, D. S., A. Miranda, G. Gebeyehu, S. Rajram and M. Van Ginkel. 1994. Choosing evaluation environments to increase wheat grain yield under drougt conditions. Crop Sci. 34: 673-678.
10. CollaKu, A. and S. A. Harrison. 2002. Losses in wheat due to water logging. Crop Sci. 42: 444-450.
11. Fernandez, G. C. I. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *In*: Kuo, C. G.(Ed.), Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Proc. Int. Symp. For water stress, Taiwan, Asian Veget. Res. Develop. Center.
12. Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Aust. J. Agris. Res. 29: 897-912.
13. Rizza, F., F. W. Badeck, L. Cattivelli, O. Lidestri, N. D. Fozo and A. M. Stanca. 2004. Use of a water stress index to identify barely genotypes adapted to rain fed and irrigated conditions. Crop Sci. 44: 2127-2137.
14. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selections for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci. 21: 943-946.
15. Ud-Din, N., B. F. Carver and A. C. Clutter. 1992. Genetic analysis and selection for wheat yield in drought-stressed and irrigated environments. Euphytica 62: 89-96.
16. Zarea-Fizabady, A. and M. Ghodsi. 2004. Evaluation of yield and yield components of facultative and winter bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under different irrigation regimes in Khorasun province in Iran. Agron. J. 3:184-187.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.10.9]