

ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های گندم

معصومه یوسفی آذر و عبدالمجید رضایی*

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

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی پتانسیل تحمل به خشکی در ۲۳ لاین $F_{2:4}$ 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 70 ± 3 و 120 ± 3 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 هامیلین 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 به صرفه 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

۱/۰۵ تعلق داشت. بنابراین علاوه بر این که 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. به نظر می‌رسد ارقامی که در شرایط آبیاری مناسب و آبیاری محدود عملکرد یکسانی داشته باشند و یا لاقل 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

خاک ببرند (۱۲). حتی در شرایط آب و هوای 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 حالی که بیشترین میزان آن به گندم تورژیدوم و به‌میزان

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_{۲.۴} گندم حاصل از تلاقی دو رقم ویرمارین (Virmarin) حساس به خشکی و سرداری مقاوم به خشکی بودند. این لاین‌ها حاصل گزینش تک بوته F_۲ و تکثیر دسته‌جمعی آنها در نسل F_۳ می‌باشند.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها در زمینی که سال قبل زیر کشت یونجه بود، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در هر یک از شرایط آبیاری متداول و آبیاری محدود (به ترتیب پس از ۳±۷۰ و ۳±۱۲۰ میلی‌متر 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 به میزان ۳ در هزار ضد عفونی شدند. بعد از آماده‌سازی زمین به منظور 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 پنجاه‌دهی و ساقه‌دهی نیز معادل ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره جهت تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه به صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت. در طول دوره رشد مبارزه با علف‌های هرز به‌طور کامل و به صورت 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 به حد 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 به ترتیب عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی می‌باشند.

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). هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش موجود باشد، شاخص MP دارای اریبی به سمت عملکرد در شرایط غیرتنش می‌شود؛ بنابراین برای رفع این مشکل شاخص میان‌هندسی 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 آنجایی که این شاخص به مقادیر متفاوت عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش حساسیت کمتری دارد، فرناندز شاخص دیگری به نام شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index, STI) را به منظور 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 محتمل به تنش مقدار بالای GMP و STI مورد نظر است.

این مطالعه به منظور 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

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):

$$SSI = \frac{1 - \frac{Y_{si}}{Y_{pi}}}{SI} \quad SI = 1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}$$

در این رابطه \bar{Y}_p و \bar{Y}_s به ترتیب 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):

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

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 این صورت ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کاهش عملکرد کمتری نسبت به شرایط غیرتنش خواهند داشت

(۱۴). فرناندز (۱۲) اظهار داشت که انتخاب بر مبنای این شاخص به نفع 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 کارایی 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).

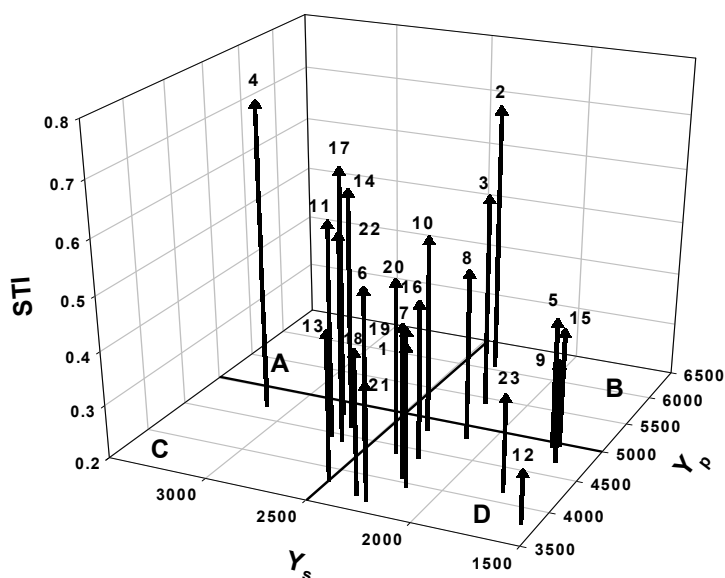
ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۴ بالاترین مقادیر متوسط تولید (MP)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) و شاخص تحمل به تنش (STI) را داشتند و ژنوتیپ شماره ۱۲ کمترین میزان این شاخص‌ها را دارا بود (جدول ۱). ژنوتیپ شماره ۲ بیشترین عملکرد در شرایط غیرتنش را داشت. این ژنوتیپ حساسیت به تنش کمتری نسبت به ژنوتیپ شماره ۲ داشت، در حالی که 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 به خود اختصاص داد؛ در حالی که ژنوتیپ شماره ۴ کاهش عملکرد کمتری نسبت به ژنوتیپ ۲ دارا بود (جدول ۱). بنابراین به نظر 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، ۱۱، ۱۷ 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.

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

| HM | STI | SSI | GMP | MP | TOL | Y_s (kg/h) | Y_p (kg/h) | رتبه |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------|
| ۲۷۱۵ ^{b-c} (۱۷) | ۰/۴۵ ^{c-f} (۱۷) | ۰/۸۸ ^{a-f} (۱۴) | ۲۸۷۴ ^{c-g} (۱۸) | ۳۰۵۶ ^{c-e} (۱۹) | ۱۷۹۲ ^{de} (۱۶) | ۲۱۶۰ ^{b-c} (۱۷) | ۳۹۵۲ ^{cd} (۱۹) | ۱ |
| ۳۳۳۸ ^{ab} (۴) | ۰/۷۰ ^{ab} (۲) | ۱/۲۶ ^{ab} (۳) | ۳۷۴۶ ^{ab} (۲) | ۴۱۹۸ ^a (۱) | ۳۷۴۴ ^a (۱) | ۲۳۲۶ ^{b-c} (۹) | ۶۰۷۰ ^a (۱) | ۲ |
| ۳۱۲۱ ^{a-d} (۷) | ۰/۵۹ ^{a-e} (۶) | ۱/۲۱ ^{a-d} (۵) | ۳۴۴۶ ^{a-e} (۶) | ۳۸۰۴ ^{a-c} (۳) | ۳۲۱۸ ^{a-c} (۳) | ۲۱۹۵ ^{b-c} (۱۶) | ۵۴۱۳ ^{ab} (۲) | ۳ |
| ۳۷۷۸ ^a (۱) | ۰/۷۶ ^a (۱) | ۰/۶۶ ^{ef} (۲۱) | ۳۸۲۰ ^a (۱) | ۳۹۱۷ ^{ab} (۲) | ۱۵۸۰ ^e (۲۰) | ۳۱۲۷ ^a (۱) | ۴۷۰۷ ^{b-d} (۹) | ۴ |
| ۲۴۹۲ ^{c-e} (۲۰) | ۰/۴۱ ^{d-f} (۱۹) | ۱/۳۰ ^a (۲) | ۲۸۷۲ ^{c-g} (۱۹) | ۳۳۲۸ ^{b-e} (۱۱) | ۳۲۶۵ ^{ab} (۲) | ۱۶۹۶ ^{de} (۵) | ۴۹۶۱ ^{a-c} (۳) | ۵ |
| ۳۰۶۵ ^{a-d} (۹) | ۰/۵۱ ^{b-f} (۱۰) | ۰/۸۳ ^{a-f} (۱۶) | ۳۱۸۸ ^{a-f} (۹) | ۳۳۱۷ ^{b-e} (۱۳) | ۱۷۵۸ ^{de} (۱۸) | ۲۴۳۸ ^{a-d} (۷) | ۴۱۹۶ ^{cd} (۱۵) | ۶ |
| ۲۸۱۸ ^{b-e} (۱۶) | ۰/۴۷ ^{b-f} (۱۳) | ۰/۹۰ ^{a-f} (۱۳) | ۲۹۷۱ ^{c-g} (۱۵) | ۳۱۳۸ ^{c-e} (۱۸) | ۱۸۵۴ ^{c-e} (۱۵) | ۲۲۱۱ ^{b-c} (۱۵) | ۴۰۶۵ ^{cd} (۱۸) | ۷ |
| ۲۹۱۳ ^{b-e} (۱۳) | ۰/۵۱ ^{b-f} (۱۱) | ۱/۱۲ ^{a-e} (۸) | ۳۱۷۶ ^{a-f} (۱۱) | ۳۴۶۸ ^{a-d} (۹) | ۲۶۹۶ ^{a-e} (۶) | ۲۱۲۰ ^{b-c} (۱۸) | ۴۸۱۶ ^{b-d} (۶) | ۸ |
| ۲۳۶۱ ^{de} (۲۲) | ۰/۳۸ ^{ef} (۲۱) | ۱/۲۴ ^{a-c} (۴) | ۲۷۷۱ ^{c-g} (۲۱) | ۳۱۸۳ ^{b-e} (۱۵) | ۳۰۵۷ ^{a-d} (۵) | ۱۶۵۵ ^{de} (۲۲) | ۴۷۱۲ ^{b-d} (۸) | ۹ |
| ۳۱۱۱ ^{a-d} (۸) | ۰/۵۶ ^{a-e} (۸) | ۱/۰۷ ^{a-f} (۹) | ۳۳۳۱ ^{a-f} (۸) | ۳۵۶۸ ^{a-d} (۷) | ۲۵۰۳ ^{a-e} (۷) | ۲۳۱۷ ^{b-c} (۱۱) | ۴۸۲۰ ^{b-d} (۵) | ۱۰ |
| ۳۳۳۳ ^{ab} (۵) | ۰/۵۹ ^{a-e} (۵) | ۰/۷۷ ^{c-f} (۱۹) | ۳۴۴۸ ^{a-e} (۵) | ۳۵۶۹ ^{a-d} (۶) | ۱۷۵۴ ^{de} (۱۹) | ۲۶۹۲ ^{ab} (۳) | ۴۴۴۶ ^{b-d} (۱۱) | ۱۱ |
| ۲۲۱۰ ^e (۲۳) | ۰/۲۹ ^f (۲۳) | ۱/۱۹ ^{a-d} (۶) | ۲۴۲۹ ^g (۲۳) | ۲۶۷۱ ^e (۲۳) | ۲۲۰۶ ^{b-c} (۹) | ۱۵۶۸ ^e (۲۳) | ۳۷۷۴ ^{cd} (۲۱) | ۱۲ |
| ۲۹۷۷ ^{a-e} (۱۱) | ۰/۴۷ ^{b-f} (۱۴) | ۰/۶۱ ^f (۲۳) | ۳۰۶۰ ^{b-g} (۱۳) | ۳۱۵۲ ^{c-e} (۱۷) | ۱۳۱۹ ^f (۲۳) | ۲۴۹۲ ^{a-c} (۶) | ۳۸۱۱ ^{cd} (۲۰) | ۱۳ |
| ۳۳۷۰ ^{ab} (۳) | ۰/۶۳ ^{a-d} (۴) | ۰/۸۷ ^{a-f} (۱۵) | ۳۵۰۵ ^{a-d} (۴) | ۳۶۴۷ ^{a-d} (۵) | ۱۹۸۴ ^{b-c} (۱۳) | ۲۶۵۵ ^{ab} (۴) | ۴۶۴۰ ^{b-d} (۱۰) | ۱۴ |
| ۲۵۲۱ ^{c-e} (۱۹) | ۰/۴۳ ^{c-f} (۱۸) | ۱/۳۰ ^a (۱) | ۲۸۸۹ ^{c-g} (۱۷) | ۳۳۲۲ ^{b-e} (۱۲) | ۳۱۹۸ ^{a-c} (۴) | ۱۷۲۳ ^{c-e} (۲۰) | ۴۹۲۱ ^{a-c} (۴) | ۱۵ |
| ۲۹۴۱ ^{a-e} (۱۲) | ۰/۴۸ ^{b-f} (۱۲) | ۰/۹۸ ^{a-f} (۱۰) | ۳۱۱۵ ^{a-g} (۱۲) | ۳۳۰۷ ^{b-e} (۱۴) | ۲۱۴۹ ^{b-c} (۱۰) | ۲۲۲۷ ^{b-c} (۱۳) | ۴۳۷۷ ^{b-d} (۱۴) | ۱۶ |
| ۳۴۲۷ ^{ab} (۲) | ۰/۶۶ ^{a-c} (۳) | ۰/۸۰ ^{b-f} (۱۸) | ۳۵۹۶ ^{a-c} (۳) | ۳۷۷۹ ^{a-c} (۴) | ۲۰۵۳ ^{b-c} (۱۱) | ۲۷۵۲ ^{ab} (۲) | ۴۸۰۵ ^{b-d} (۷) | ۱۷ |
| ۲۸۵۰ ^{b-e} (۱۵) | ۰/۴۶ ^{c-f} (۱۶) | ۰/۷۵ ^{d-f} (۲۰) | ۲۹۳۱ ^{c-g} (۱۶) | ۳۰۱۵ ^{d-e} (۲۰) | ۱۳۸۲ ^e (۲۲) | ۲۳۲۴ ^{b-c} (۱۰) | ۳۷۰۵ ^d (۲۲) | ۱۸ |
| ۲۸۵۱ ^{b-e} (۱۴) | ۰/۴۶ ^{c-f} (۱۵) | ۰/۹۵ ^{a-f} (۱۱) | ۳۰۱۰ ^{b-g} (۱۴) | ۳۱۸۲ ^{b-e} (۱۶) | ۱۹۲۶ ^{b-c} (۱۴) | ۲۲۱۹ ^{b-c} (۱۴) | ۴۱۴۵ ^{cd} (۱۷) | ۱۹ |
| ۳۰۱۹ ^{a-d} (۱۰) | ۰/۵۱ ^{b-f} (۹) | ۰/۹۱ ^{a-f} (۱۲) | ۳۱۸۷ ^{a-f} (۱۰) | ۳۳۷۰ ^{b-e} (۱۰) | ۲۰۴۷ ^{b-c} (۱۲) | ۲۲۴۶ ^{a-e} (۸) | ۴۳۹۴ ^{b-d} (۱۳) | ۲۰ |
| ۲۷۱۳ ^{b-e} (۱۸) | ۰/۴۱ ^{d-f} (۲۰) | ۰/۶۵ ^{ef} (۲۲) | ۲۸۲۰ ^{d-g} (۲۰) | ۲۹۵۸ ^{de} (۲۱) | ۱۳۹۶ ^e (۲۱) | ۲۲۶۰ ^{b-c} (۱۲) | ۳۶۵۶ ^d (۲۲) | ۲۱ |
| ۳۲۷۶ ^{a-c} (۶) | ۰/۵۸ ^{a-e} (۷) | ۰/۸۳ ^{a-f} (۱۷) | ۳۳۹۱ ^{a-f} (۷) | ۳۵۱۲ ^{a-d} (۸) | ۱۷۷۶ ^{de} (۱۷) | ۲۶۲۴ ^{ab} (۵) | ۴۴۰۰ ^{b-d} (۱۲) | ۲۲ |
| ۲۴۶۱ ^{de} (۲۱) | ۰/۳۷ ^{ef} (۲۲) | ۱/۱۸ ^{a-d} (۷) | ۲۶۹۵ ^{fg} (۲۲) | ۲۹۵۳ ^{de} (۲۲) | ۲۳۹۶ ^{a-e} (۸) | ۱۷۵۵ ^{c-e} (۱۹) | ۴۱۵۱ ^{cd} (۱۶) | ۲۳ |

* : اعداد داخل پرانتز مربوط به رتبه ژنوتیپ‌ها می‌باشد.



شکل ۱. پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در محیط تنش خشکی (Y_s) و بدون تنش (Y_p) و شاخص تحمل به تنش (STI)

از تحمل به تنش بالاتری برخوردار بود و بقیه ژنوتیپ‌ها نیز تحمل به تنش نسبتاً خوبی داشتند. سایر ژنوتیپ‌ها در گروه D قرار گرفتند که در بین آنها ژنوتیپ‌های شماره ۲۰ و ۱۰ دارای تحمل به تنش متوسطی بودند و بقیه از میزان پایینی از این شاخص برخوردار بودند (شکل ۱).

نورمند مؤید و همکاران (۶) در بررسی گندم نان در شرایط تنش خشکی و بدون تنش، با رسم نمودار سه بعدی عملکرد ارقام در هر دو محیط و شاخص‌های GMP و STI، نشان دادند ژنوتیپ‌هایی که در گروه A قرار داشتند، 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 مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت (جدول ۲). بنابه اظهار روزبیل و همبلین (۱۴) در اغلب آزمایش‌ها هم‌بستگی بین این دو شاخص مثبت بوده است و انتخاب بر اساس شاخص SSI به‌نفع ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد پایین در شرایط بدون تنش و با عملکرد بالا در شرایط تنش می‌باشد. شاخص MP

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، شاخص متوسط تولید (MP) ژنوتیپ شماره ۳ را جزو سه ژنوتیپ برتر معرفی کرده است، در حالی که این ژنوتیپ عملکرد بالایی را در شرایط تنش نداشت و از نظر شاخص‌های TOL و SSI نیز جزو ژنوتیپ‌های حساس محسوب می‌شود. فرناندز (۸) شاخص متوسط تولید را جزو شاخص‌های با کارایی پایین معرفی نمود، زیرا این شاخص نمی‌تواند ژنوتیپ‌های متحمل و با عملکرد بالا را به‌طور هم‌زمان در محیط‌های تنش رطوبتی و غیرتنش، متمایز سازد. هم‌چنین او بیان کرد که شاخص میانگین هندسی عملکرد کمتر تحت تأثیر ارزش نهایی صفات است و می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A را از بقیه ژنوتیپ‌ها متمایز کند.

پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در شرایط تنش رطوبتی (Y_s) و بدون تنش (Y_p) به‌همراه شاخص STI در نمودار سه بعدی (شکل ۱) نشان داده شده است. هیچ کدام از ژنوتیپ‌ها در گروه A قرار نگرفتند. ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۳ در گروه B قرار گرفتند که ژنوتیپ شماره ۲ از میزان STI بالاتری برخوردار بود. در گروه C، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۷ و ۲۲ قرار گرفتند که از میان آنها ژنوتیپ شماره ۴

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

| شاخص | TOL | MP | GMP | SSI | STI | HM | Y_p | 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_p | | | | | | | ۱ | -۰/۱۳ |
| Y_s | | | | | | | | ۱ |

ضرایب هم‌بستگی با قدر مطلق بیش از ۰/۴۱ در سطح احتمال ۰/۵ و بیشتر از ۰/۵۳ در سطح احتمال ۰/۱ 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_p عملکرد در شرایط بدون تنش و Y_s عملکرد در شرایط تنش می‌باشند.

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

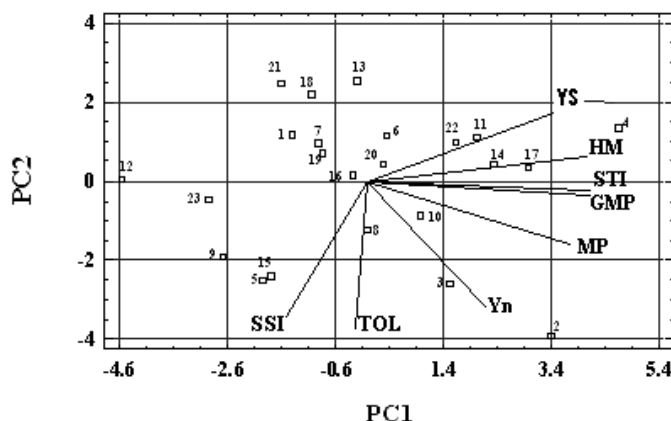
شاخص‌های GMP، STI و HM هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. شاخص GMP نیز با شاخص‌های STI و HM هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. شاخص SSI با شاخص HM هم‌بستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. هم‌بستگی شاخص STI با شاخص HM مثبت و بسیار معنی‌دار بود. شاخص‌های تحمل، متوسط تولید، 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

جدول ۳. 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.



شکل ۲. 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.

حساس معرفی شد و تنها در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی داشت. به هر 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.

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

منابع مورد استفاده

- 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.

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 (*Phaseolus 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 drought 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 Khorasan province in Iran. Agron. J. 3:184-187.