تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی
جلد پنجم، شماره دوم، نیمه دوم ۹۱
۹۹ - ۱۱۳

ارزیابی ژنوتیپ‌های بهاره گندم با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

بهنام فیروزی[۱]، امیدسفالیان[۲*]، مجید شکرپور[۳]، علی رسول زاده[۴]، فاطمه احمدپور[۵]

۱. دانشجوی دکترای رشته بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی؛ ۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی؛ ۳. استادیار گروه باغبانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران؛ ۴.استادیار گروه علوم آب و مدیریت کشاورزی دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی؛ ۵. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته اصلاح نباتات.

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۴

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده محیطی است که باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا می‌شود. یکی از راهبردهای مفید در زمینه اصلاح گیاهان برای مقاومت به خشکی، حفظ و بهره‌گیری از تنوع موجود در بین ارقام است. به منظور شناسائی منابع مقاومت به خشکی و ارزیابی شاخص‌های تحمل، تعداد ۳۹ ژنوتیپ گندم بهاره در قالب طرح کرت‌های خرد شده با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی کشت شدند. سطوح تنش شامل شاهد (آبیاری کامل)، سطح تنش دو سوم نیاز آبیاری و سطح تنش یک سوم نیاز آبیاری بود. سطوح تنش به عنوان کرت‌های اصلی در نظر گرفته شده و ژنوتیپ‌ها نیز به عنوان کرت‌های فرعی داخل کرت‌های اصلی به صورت تصادفی کشت شدند.در تنش دو سوم آبیاری از نظر شاخص‌های STI، GMP و HARM، ژنوتیپ‌های سپاهان کرج۳، بهار و یاواروس بهترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. در شرایط تنش یک سوم آبیاری از نظر شاخص‌های فوق ژنوتیپ‌های هیرمند، بهار، یاواروس و مرودشت بهترین بودند. بالاترین ضریب همبستگی عملکرد دانه در شرایط بدون تنش به ترتیب با شاخص‌های GMP، STI و HARM و در شرایط تنش دو سوم آبیاری به ترتیب با HARM، GMP و STI حاصل گردید. همچنین طبق نمودار بای‌پلات حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در سطح تنش دو سوم آبیاری ژنوتیپ‌های مغان۱، گلستان، کویر، مارون، کرخه، چناب، بهار، سپاهان، قرمزک و تجن و در سطح تنش یک سوم آبیاری شامل ژنوتیپ‌های گلستان، نیک‌نژاد، مارون، داراب، فلات، آرتا، مرودشت، بهار، هیرمند و قرمزک جزو ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بودند.

واژه‌های کلیدی: **تنش خشکی، تنوع، عملکرد دانه**

مقدمه

در ایران گندم تحت شرایط اقلیمی مختلفی کشت شده و در مراحل مختلف رشدی نیز در معرض تنش‌های خشکی، گرما و سرما قرار دارد. حدود ۶۷ درصد از سطح زیر کشت گندم مربوط به اراضی دیم می‌باشد که در فصل رشد در معرض تنش خشکی قرار دارد. حتی در شرایط کشت آبی نیز در ایران محدودیت آب عموماً در اواخر فصل رشد گندم اتفاق می‌افتد و علت آن رقابت کشت‌های بهاره با زمان آبیاری گندم در مرحله پر شدن دانه‌ها است. این محدودیت آب با توجه به زمان آن می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد گندم داشته باشد (Galeshi and Oskouie, 2002). اهمیت اقتصادی گندم باعث شده است تا هر گونه راهکاری به منظور بهینه کردن سیستم تولید این محصول در کشور مورد ارزیابی و کاربرد قرار گیرد. در این میان تولید و معرفی ارقام پرمحصول و متحمل به تنش خشکی آخر فصل و نیز ارقام زودرس (در مناطق سرد و سرد معتدل که از اقلیم‌های مهم کشت گندم کشور محسوب می‌شوند) از جمله راهکارهای موثری است که در تلفیق با سایر روش‌های مدیریت کم آبی می‌تواندتأثیر این پدیده را به حداقل برساند (Aghaee-Sarbarzeh et al., 2004;

نگارنده پاسخگو: امید سفالیان. آدرس: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات.
پست الکترونیک: sofalian@gmail.com

Trethowan and Reynolds, 2007; Aghaee-Sarbarzeh and Rostaee, 2008).

شاخص‌های کمّی تحمل به خشکی مختلفی توسط محققین، معرفی و بکار گرفته شده است. هر یک از این شاخص‌ها دارای مزایا و معایبی هستند و پیشنهاد شاخص فیزیولوژیکی خاص به عنوان یک شاخص معتبر برای تولید مطلوب در شرایط تنش خشکی، که به‌نژادگران از آن به عنوان یک شاخص مقاومت به خشکی مناسب برای داشتن عملکرد بالا استفاده کنند، مشکل می‌باشد (Blum et al., 1981). فرناندز (Fernandez, 1992) در معرفی شاخص‌های کمی تحمل به خشکی اظهار داشت که هر چقدر عملکرد ژنوتیپ در محیط تنش خشکی Ys[1] به عملکرد در شرایط عادی Yp[2] نزدیک‌تر باشد، حساسیت رقم به خشکی کمتر بوده و در نتیجه مقدار شاخص نسبت افت عملکرد (Yr[3]) و به تبع آن شاخص حساسیت به تنش (SSI[4]) آن رقم کوچک‌تر می‌شود. طبق نظر وی، ژنوتیپ‌ها بر اساس پاسخ عملکرد به تنش خشکی به چهار گروه تقسیم می‌شوند: گروه A: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط تنش آبی و بدون تنش عملکرد بالایی تولید می‌کنند؛ گروه B: ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت شرایط غیر تنش؛ گروه C: ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت شرایط تنش؛ و گروه D: ژنوتیپ‌هایی با عملکرد ضعیف تحت هر دو شرایط تنش و غیر تنش.

در بررسی برنامه‌های به‌نژادی به منظور گزینش مواد برتر، ژنوتیپ مطلوب ژنوتیپی است که دارای عملکرد بالا و پایدار باشد، به عبارت دیگر با محیط سازگاری بالایی داشته باشد. محققان مختلف، آزمایشاتی تحت هر دو شرایط انجام داده و در نهایت به این نتیجه رسیده‌اند که ژنوتیپی مطلوب و پایدار است که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بهترین پاسخ را بدهد. برای کاهش معایب ناشی از همبستگی معنی‌دار بین SSI و عملکرد تحت شرایط تنش، سولسکو و همکاران (Saulescu et al., 1998) پیشنهاد استفاده از انحراف معیار حاصل از رگرسیون خطی SSI روی عملکرد در شرایط مطلوب را ارائه نمودند. فرناندز (Fernandez, 1992) ادعا کرد که انتخاب بر اساس STI[5] و GMP[6] منجر به معرفی ژنوتیپ‌هایی با تحمل تنش بالاتر و پتانسیل عملکرد خوب خواهد شد. از نظر فرناندز (Fernandez, 1992) مناسب‌ترین معیار، شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد. ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط بدون تنش و تنش‌زا برتر باشند در گروه A قرار می‌گیرند. بنا به نظر وی شاخص‌هایMP، SSI، Yr و TOL در جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها چندان موفق نیستند. گزینش بر اساس MP[7]، معمولاً متوسط عملکرد را در هر دو محیط دارای تنش و عادی افزایش می‌دهد. به این دلیل، MP برای تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A از گروه B مناسب نیست. گزینش بر اساس شاخص TOL[8]، ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل پایین عملکرد تحت شرایط عادی و عملکرد بالا تحت شرایط تنش را انتخاب می‌کند. فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را پیشنهاد نمودند. مقدار کمتر SSI نشان‌دهنده تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش و در نتیجه پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است. با استفاده از شاخص SSI ژنوتیپ‌های گروه B و C از سایر گروه‌ها قابل تمایز هستنددر اکثر آزمایش‌های عملکرد، همبستگی بین TOL با Ysو Yp مثبت می‌باشد. بنابراین شاخص TOL، قادر به تشخیص اختلاف بین گروه A و گروه C نمی‌باشد. معیارهای SSI و Yr ژنوتیپ‌هایی را بر می‌گزینند که دارای پتانسیل پایین عملکرد در شرایط عادی و پتانسیل عملکرد بالا تحت شرایط تنش باشند. حصادی (Hessadi, 2006) در آزمایشی با استفاده از ژنوتیپ‌های جو به این نتیجه رسید که شاخص‌های MP، TOL، HARM و GMP برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی مناسب‌اند. گلپرور (Golparvar, 2000) در بررسی گندم‌های نان در شرایط تنش و بدون تنش گزارش کرد که شاخص‌های STI، GMP و MP همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد در شرایط هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشته و به این دلیل به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند. زبرجدی (Zebarjadi, 2008) در کلزا STI را بهترین شاخص جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل معرفی

[1] yield in drought stress condition
[2] yield in non-stress condition
[3] yield reduction
[4] stress sensitivity index
[5] stress tolerance index
[6] geometric mean productivity
[7] mean productivity
[8] tolerance

نمود. پورداد و همکاران (Pordad et al., 2008) همچنین STI را به عنوان مطلوب‌ترین شاخص مقاومت به خشکی در بررسی مقاومت به خشکی گلرنگ های بهاره در مناطق مختلف معرفی کردند. در این راستا محققین دیگری نیز همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌هایSTI، GMP و MP را مثبت و معنی دار گزارش نموده‌اند (Karami et al., 2006; Farshadfar and Sutka, 2003; Sanjari et al., 2006). فرناندز (Fernandez, 1992) اعلام کرده است که شاخص STI می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد. بنابراین به عنوان شاخص برتر نسبت به سایر شاخص‌ها در جداسازی ژنوتیپ‌های چهار گروه از هم، بهتر عمل خواهد کرد. سبزی و پاک نیت (Sabzi and Pakniat, 2006) به منظور شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، تعداد ۲۵ ژنوتیپ گندم نان را در دو شرایط دیم و آبیاری مطلوب مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به همبستگی معنی‌دار شاخص‌های کمی تحمل به خشکی، میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی تولید (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص تحمل (TOL) با عملکرد دانه در هر شرایط، این شاخص‌ها برای تعیین ارقام متحمل به خشکی مناسب تشخیص داده شدند.

هدف از انجام این آزمایش ارزیابی تنوع ۳۹ ژنوتیپ گندم بهاره از نظر تحمل به تنش خشکی آخر فصل، انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و شناسایی متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به خشکی در راستای معرفی در منطقه اردبیل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال ۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. تعداد ۳۹ ژنوتیپ گندم (جدول ۱) که از موسسه تحقیقات و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شده بودند به صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی کشت شدند. سطوح تنش (شامل سه سطح شاهد یا آبیاری کامل، تنش دو سوم نیاز آبیاری و تنش یک سوم نیاز آبیاری) به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌ها به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. پس از انجام عملیات شخم و تسطیح زمین، ژنوتیپ‌ها در ۲۵ فروردین ۱۳۸۸(پس از اطمینان از سپری شدن سرمای دیررس زمستانه) به روش خطی و با دست کشت شدند. نیاز آبیاری گندم به روش فائو-پنمن-مانتیت[1] و به وسیله معادله ۱ محاسبه شد:

$$Et_c = K_c \times ET_o \qquad [1]$$

در این معادله ET_c تبخیر و تعرق گیاه اصلی (در اینجا گندم)، ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) و K_c ضریب گیاهی (بدون واحد) می‌باشند که با استفاده از اطلاعات جغرافیایی، هواشناسی، خاک‌شناسی و توسط نرم افزار CROPWAT-4 محاسبه گردید (Allen et al., 1998). منحنی ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق و نیاز آبیاری گندم که طی فواصل ۱۰ روزه توسط نرم افزار محاسبه شده به ترتیب در شکل ۱ و ۲ آورده شده است. مقادیر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج تجزیه آب چاه مورد استفاده برای آبیاری نشان داد که pH آب برابر ۷/۹، EC برابر ۷/۷ (میکرو زیمنس بر متر) و SAR برابر ۲/۲ بود. در مرحله بعدی دو سوم و یک سوم مقدار نیاز آبی محاسبه شده به ترتیب برای سطوح تنش دو سوم و یک سوم آبیاری در نظر گرفته شد. پس از این مرحله، کرت‌های شاهد به صورت کامل و کرت‌های تحت تنش طبق برنامه زمان‌بندی شده توسط نرم‌افزار تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به وسیله پمپ آبیاری شدند. نحوه استفاده از پمپ به این صورت بود که با محاسبه دبی پمپاژ آب توسط پمپ و با توجه به مقدار نیاز آبیاری (محاسبه شده توسط نرم افزارCROPWAT-4)، زمان لازم بدست آمده و تنش اعمال شد. قبل از کاشت کود حیوانی پوسیده به میزان ۲۰ تن در هکتار و کود ازت به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار به صورت یکنواخت در زمین محل کاشت پخش گردید. در طول دوره رشد مراقبت‌های زراعی معمول از قبیل وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام و دو مرحله کود ازت (مرحله ساقه روی و سنبله دهی) معادل ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار اعمال گردید. به منظور پیشگیری از بیماری زنگ زرد، از سم تیلت (Proconazole) به مقدار نیم لیتر در هکتار استفاده شد. آبیاری تا مرحله پنجه‌دهی برای همه کرت‌ها به طور منظم صورت گرفت. نمونه گیری پس از حذف بوته های حاشیه به تعداد شش بوته از هر ژنوتیپ انجام شد.از نرم افزارهای

[1]FAO- Penmann-Monteith

SPSS ver. 16 و Minitab 14 برای انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها استفاده شد، همچنین برخی نمودارها با نرم افزار Excel 2007 ترسیم گردید.مقایسه میانگین صفات با استفاده از روش LSD صورت گرفت.

جدول ۱. اسامی و تیپ رشدی ارقام مورد استفاده در تحقیق

Table 1. Name and growth type of wheat genotypes

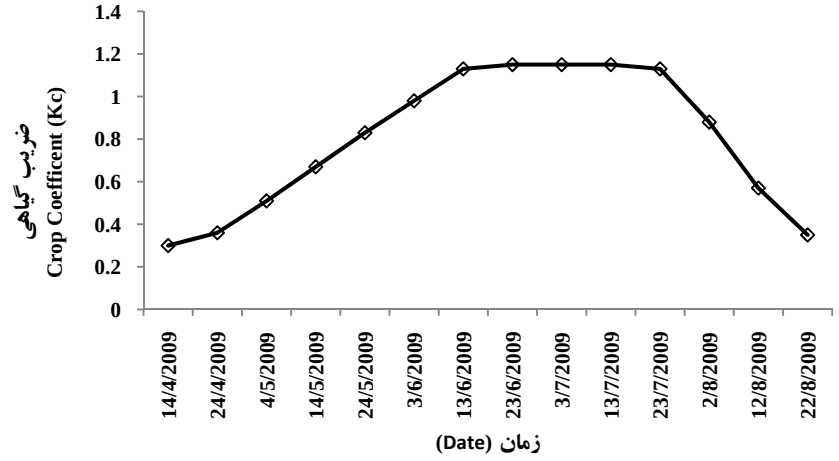
شماره ژنوتیپ Genotype No.	نام ژنوتیپ Genotype Name	تیپ رشدی Growth Type	شماره ژنوتیپ Genotype No.	نام ژنوتیپ Genotype Name	تیپ رشدی Growth Type	شماره ژنوتیپ Genotype No.	نام ژنوتیپ Genotype Name	تیپ رشدی Growth Type
۱	Shiroodi	Spring	۱۴	Bahar	Spring	۲۷	Karkheh	Facultative
۲	Aria	Spring	۱۵	Darab	Facultative	۲۸	Karaj2	Facultative
۳	Darya	Facultative	۱۶	Kavir	Spring	۲۹	Roshan	Facultative
۴	Germezak	Spring	۱۷	MS 18-14	Facultative	۳۰	Sholeh	Facultative
۵	Niknejad	Spring	۱۸	Arta	Facultative	۳۱	Arvand	Spring
۶	Atila4	Spring	۱۹	Verinak	Facultative	۳۲	Chanab	Facultative
۷	Akbari	Spring	۲۰	Azadi	Spring	۳۳	Hirmand	Spring
۸	Ghods	Facultative	۲۱	Yavarous	Spring	۳۴	Alborz	Spring
۹	Sepahan	Facultative	۲۲	Marvdasht	Spring	۳۵	Falat	Spring
۱۰	Atila50	Spring	۲۳	Mahdavi	Facultative	۳۶	Maroon	Facultative
۱۱	Sistan	Spring	۲۴	Chamran	Spring	۳۷	Golestan	Facultative
۱۲	Moghan1	Facultative	۲۵	Tabasi	Spring	۳۸	Tajan	Spring
۱۳	Karaj3	Spring	۲۶	Line A	Facultative	۳۹	Sorkhtokhm	Facultative

Spring: بهاره؛ Facultative: بهاره-پاییزه

جدول۲. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

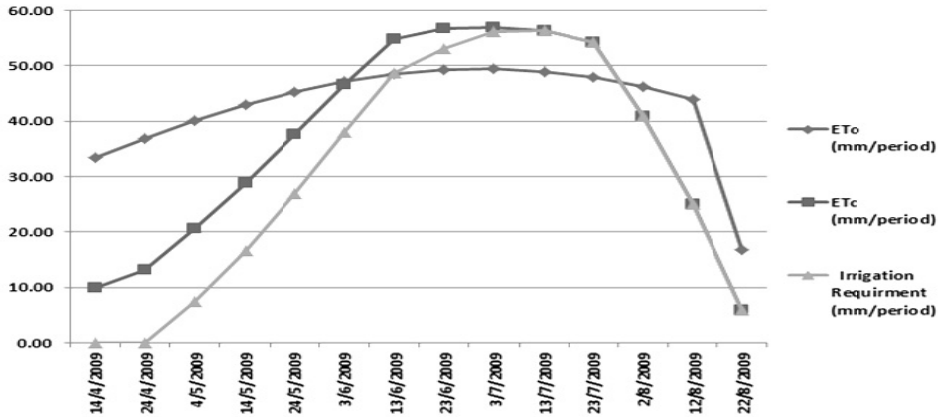
Tab. 2. Physico-chemical properties of experiment soil

بافت خاک texture	رطوبت ظرفیت زراعی Soil moisture at field capacity	رطوبت نقطه پژمردگی Soil moisture at wilting point	آهک Lime	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	ماده آلی خاک Soil Organic matter	pH	هدایت الکتریکی EC
	----------($cm^3.cm^{-3}$) ----------		(٪)	---------- (ppm) ----------			(٪)		($dS.m^{-1}$)
سیلتی لومی Loamy-silt	26.11	15.14	14.45	2120	29.84	626	0.626	7.83	3.74



شکل۱. منحنی ضریب گیاهی گندم در طی فصل رشد

Fig. 1.The diagram of wheat crop coefficient during growing season



شکل۲. منحنی تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_O) و گندم (ET_C) و نیاز آبیاری گندم

Fig. 2. Reference evapotranspiration (ET0), crop evapotranspiration (ET_c) and irrigation requirement of wheat

نتایج

تجزیه واریانس شاخص‌های مقاومت به خشکی در جدول ۳ آمده است. نتایج شهریاری و همکاران (Shahryari et al., 2008) در بررسی اثر تنش خشکی آخر فصل بر روی ۴۲ ژنوتیپ گندم نشان داد که در شرایط خشکی تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد وجود داشت و همبستگی عملکرد دانه با وزن هزار دانه معنی‌دار بوده است. از میان این شاخص‌ها، دو شاخص STI و SSI برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارای اختلاف معنی‌دار به ترتیب در سطوح احتمال یک و پنج درصد بودند. کلیه شاخص‌ها برای تنش و شاخص‌هایGMP، HARM و TOL برای اثر متقابل تنش در ژنوتیپ معنی دار بودند.

مقایسه میانگین شاخص‌های مقاومت به خشکی برای ۳۹ ژنوتیپ گندم در جدول ۴ برای تنش دو سوم و در جدول ۵ برای تنش یک سوم آبیاری ارایه شده است. در تنش دو سوم آبیاری از نظر شاخص‌های STI، GMP و HARM ژنوتیپ سپاهان بهترین ژنوتیپ شناخته شد (جدول ۴). این ژنوتیپ در شرایط شاهد(آبیاری کامل) و

تنش دو سوم آبیاری از نظر عملکرد به ترتیب رتبه دوم و اول را به خود اختصاص داده است. همچنین ژنوتیپ‌های کرج۳، بهار و یاواروس نیز از نظر شاخص‌های فوق دارای مقادیر بالایی بودند و در شرایط شاهد(آبیاری کامل) و تنش نیز عملکرد خوبی داشتند (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد تحت دو سطح تنش دو سوم و یک سوم آبیاری

Table 3. Analysis of variance for drought tolerance indices and grain yield in 2/3 and 1/3 stress levels

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات(MS) عملکرد تنش Ys	درجه آزادی df	شاخص تحمل به تنش STI	شاخص حساسیت به تنش SSI	درجه آزادی df	شاخص تحمل TOL	میانگین هارمونیک بهره‌وری HARM	میانگین هندسی بهره‌وری GMP
تکرار Replication	2	25.974^{ns}	2	0.11^{ns}	0.163^{ns}	2	18.501^{ns}	35.146*	41.578**
تنش Stress	1	63.678^{ns}	1	3.468**	0.028*	1	63.681*	49.805*	33.571*
تنش × تکرار Stress×Replication	2	3.329	2	-	-	2	3.33	2.838	1.825
ژنوتیپ Genotype	38	2.488^{ns}	38	0.252**	0.425*	38	3.277^{ns}	2.597^{ns}	2.369^{ns}
ژنوتیپ × تنش Genotype ×Stress	38	1.069^{ns}	38	0.067^{ns}	0.243^{ns}	38	1.069*	0.939**	0.625**
خطا Error	152	1.665	154	0.166	0.282	76	4.012	3.548	3.252

از مطالعه معیار تحمل به خشکی (TOL) چنین برمی‌آید که معمولاً ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالایی داشتند، تحمل مطلوبی به تنش رطوبتی نشان ندادند. ژنوتیپ مغان۱ و چمران که به ترتیب بیشترین تحمل به خشکی (کمترین TOL) را داشتند از عملکرد مناسبی در شرایط شاهد(آبیاری کامل) و تنش دو سوم آبیاری برخوردار نبودند. این ژنوتیپ‌ها از لحاظ شاخص حساسیت به خشکی (SSI) نیز به ترتیب رتبه‌های اول و دوم را کسب کردند. در مقابل نیز ژنوتیپ‌های سپاهان، کرج۳، بهار و یاواروس که عملکرد مطلوبی در هر دو شرایط داشتند از معیار تحمل به خشکی (TOL) و شاخص حساسیت به خشکی (SSI) مناسبی برخوردار نبودند (جدول ۴).

در شرایط تنش یک سوم آبیاری، ژنوتیپ هیرمند بهترین ژنوتیپ از نظر شاخص‌هایSTI، GMP و HARMشناخته شد این ژنوتیپ از نظر عملکرد دانه در شرایط شاهد در رتبه پنجم و در شرایط تنش یک سوم در رتبه اول قرار داشت. بجز این ژنوتیپ، ژنوتیپ‌های بهار، یاواروس و مرودشت دارای مقادیر بالایی از سه شاخص فوق بودند. این سه ژنوتیپ همچنین از نظر عملکرد دانه در شرایط شاهد و تنش نیز از جایگاه خوبی برخوردار بودند (جدول۵).

ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص‌ها در شرایط تنش خشکی دو سوم آبیاری و شاهد در جدول ۶ نشان داده شده است. همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) و شاهد (Yp) مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های STI، HARM و GMP دارای همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و با شاخص‌های SSI و TOL همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد نشان داد. عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) با تمام شاخص‌ها بجز SSI همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت.

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی در سطح تنش دو سوم آبیاری

Table 4. Values and ranking of drought stress indices in 2/3 continuous irrigation stress level

ژنوتیپ	عملکرد بدون تنش	عملکرد تنش	شاخص تحمل TOL		شاخص تحمل به تنش STI		شاخص حساسیت به تنش SSI		میانگین هارمونیک بهره‌وری HARM		میانگین هندسی بهره‌وری GMP	
Genotype	Yp	Ys	مقدار value	رتبه rank	مقدار value	رتبه rank	مقدار value	رتبه rank	مقدار value	رتبه rank	مقدار value	رتبه rank
Shiroodi	2.71	0.96	1.75	18	0.12	39	1.85	1	1.41	39	1.61	39
Aria	5.23	2.31	2.92	2	0.58	27	1.60	4	3.20	29	3.47	27
Darya	5.13	2.89	2.24	7	0.71	15	1.25	10	3.70	18	3.85	15
Germezak	4.22	3.12	1.10	30	0.63	22	0.75	28	3.59	20	3.63	22
Niknejad	4.28	2.83	1.44	25	0.58	26	0.97	22	3.41	26	3.48	26
Atila4	3.65	2.09	1.56	23	0.36	35	1.22	13	2.66	34	2.76	35
Akbari	5.25	3.886	1.39	26	0.96	6	0.76	27	4.45	6	4.50	6
Ghods	4.34	2.58	1.76	17	0.53	30	1.16	16	3.23	28	3.34	30
Sepahan	5.70	4.76	0.94	32	1.29	1	0.47	35	5.19	1	5.21	1
Atila50	3.87	1.49	2.38	4	0.27	38	1.76	2	2.15	38	2.40	38
Sistan	4.39	1.71	2.68	3	0.36	36	1.75	3	2.46	37	2.74	36
Moghan1	3.88	3.72	0.17	39	0.69	17	0.12	39	3.80	15	3.80	17
Karaj3	5.69	3.97	1.72	20	1.08	3	0.87	24	4.67	4	4.75	3
Bahar	5.42	4.25	1.17	29	1.10	2	0.62	32	4.76	2	4.80	2
Darab	4.51	2.41	2.10	9	0.52	31	1.33	8	3.14	31	3.30	31
Kavir	4.22	2.59	0.64	36	0.72	14	0.43	36	3.88	13	3.89	14
MS 18-14	5.14	3.28	1.87	14	0.80	10	1.04	20	4.00	11	4.11	10
Arta	5.05	3.33	1.72	19	0.80	11	0.98	21	4.01	10	4.10	11
Verinak	4.19	2.33	1.86	15	0.47	32	1.27	9	3.00	32	3.13	32
Azadi	4.82	2.74	2.07	10	0.63	20	1.23	12	3.50	23	3.64	20
Yavarous	5.57	4.04	1.54	24	1.07	4	0.79	26	4.68	3	4.74	4
Marvdasht	5.02	2.95	2.07	11	0.70	16	1.18	15	3.71	17	3.84	16
Mahdavi	4.58	2.81	1.77	16	0.61	23	1.11	19	3.48	24	3.59	23
Chamran	2.71	2.49	0.21	38	0.32	37	0.23	38	2.60	36	2.60	37
Tabasi	4.10	3.06	1.04	31	0.60	25	0.72	30	3.51	22	3.54	25
Line A	6.20	2.76	3.44	1	0.82	9	1.59	5	3.82	14	4.14	9
Karkheh	4.46	3.69	0.77	35	0.78	12	0.50	34	4.04	8	4.06	12
Karaj2	4.72	2.38	2.34	5	0.54	29	1.42	7	3.17	30	3.34	29
Roshan	5.36	3.21	2.15	8	0.82	8	1.15	18	4.02	9	4.15	8
Sholeh	3.91	2.22	1.96	22	0.41	33	1.24	11	2.83	33	2.94	33
Arvand	4.70	2.73	1.98	12	0.61	24	1.20	14	3.45	25	3.58	24
Chanab	4.47	3.56	0.91	34	0.76	13	0.58	33	3.97	12	3.99	13
Hirmand	5.51	3.81	1.70	21	1.00	5	0.88	23	4.50	5	4.58	5
Alborz	4.07	2.84	1.23	28	0.55	28	0.86	25	3.35	27	3.40	28
Falat	4.77	2.84	1.93	13	0.65	19	1.16	17	3.56	21	3.68	19
Maroon	4.26	3.33	0.93	33	0.68	18	0.63	31	3.74	16	3.77	18
Golestan	3.89	3.39	0.50	37	0.63	21	0.37	37	3.62	19	3.63	21
Tajan	4.83	3.58	1.25	27	0.82	7	0.74	29	4.11	7	4.16	7
Sorkhtokhm	4.21	1.94	2.27	6	0.39	34	1.54	6	2.66	35	2.86	34
LSD 5%		*1.73*	*1.05*	-	*0.547*	–	*0.713*	–	*0.923*	–	*0.752*	–

جدول ۵ . مقادیر شاخص‌های مقاومت به خشکی در سطح تنش یک سوم آبیاری

Table 5. Values and ranking of drought stress indices in 1/3 continuous irrigation stress level

ژنوتیپ	عملکرد بدون تنش	عملکرد تنش	شاخص تحمل TOL		شاخص تحمل به تنش STI		شاخص حساسیت به تنش SSI		میانگین هارمونیک بهره‌وری HARM		میانگین هندسی بهره‌وری GMP	
Genotype	Yp	Ys	مقدار value	رتبه rank	مقدار value	رتبه rank	مقدار value	رتبه rank	مقدار value	رتبه rank	مقدار value	رتبه rank
Shiroodi	2.71	1.25	1.45	38	0.16	36	0.93	27	1.71	36	1.84	36
Aria	5.23	1.83	3.40	8	0.46	15	1.13	12	2.71	18	2.09	15
Darya	5.13	1.70	3.43	6	0.42	20	1.16	8	2.56	22	2.96	20
Germezak	4.22	2.61	1.61	37	0.52	9	0.66	35	3.22	9	3.32	9
Niknejad	4.28	2.31	1.97	31	0.47	14	0.80	31	3.00	10	3.14	14
Atila4	3.65	0.45	3.20	14	0.08	38	1.52	2	0.80	38	1.28	38
Akbari	2.25	1.92	3.33	9	0.47	11	1.10	14	2.81	15	3.17	11
Ghods	4.34	1.68	2.65	21	0.35	25	1.06	17	2.43	26	2.70	25
Sepahan	5.70	2.28	3.42	7	0.62	7	1.04	19	3.26	7	3.60	7
Atila50	3.87	0.65	3.22	12	0.12	37	1.44	3	1.11	37	1.59	37
Sistan	4.39	1.52	2.87	17	0.32	29	1.13	11	2.26	30	2.59	29
Moghan1	3.88	1.56	2.33	26	0.29	31	1.04	20	2.22	31	2.46	31
Karaj3	5.69	1.89	3.80	2	0.51	10	1.16	9	2.84	13	3.28	10
Bahar	5.42	3.59	1.83	34	0.93	2	0.59	37	4.32	2	4.71	2
Darab	4.51	2.19	2.32	28	0.47	13	0.89	28	2.95	11	3.15	13
Kavir	4.22	1.71	2.52	22	0.34	26	1.03	21	2.43	25	2.68	26
MS 18-14	5.14	1.82	3.32	10	0.45	16	1.12	13	2.69	19	3.06	16
Arta	5.05	3.11	1.94	32	0.75	6	0.67	34	3.85	5	3.96	6
Verinak	4.19	0.37	3.83	1	0.07	39	1.58	1	0.67	39	1.24	39
Azadi	4.82	1.81	3.01	15	0.42	21	1.08	15	2.63	21	2.95	21
Yavarous	5.57	3.23	2.3	25	0.86	3	0.73	32	4.09	3	4.24	3
Marvdasht	5.02	3.34	1.67	35	0.80	4	0.58	38	4.01	4	4.09	4
Mahdavi	4.58	1.87	2.71	19	0.41	22	1.03	24	2.66	20	2.93	22
Chamran	2.71	2.00	0.71	39	0.26	33	1.45	39	2.30	28	2.33	33
Tabasi	4.10	1.67	2.43	23	0.33	28	1.03	23	2.37	27	2.62	28
Line A	6.20	2.60	3.60	3	0.77	5	1.01	25	3.66	6	4.01	5
Karkheh	4.46	1.78	2.68	20	0.38	23	1.04	18	2.55	23	2.82	23
Karaj2	4.72	1.51	3.20	13	0.34	27	1.18	7	2.29	29	2.67	27
Roshan	5.36	1.85	3.51	4	0.47	12	1.13	10	2.75	16	3.15	12
Sholeh	3.91	1.51	2.40	24	0.28	32	1.06	16	2.18	32	2.43	32
Arvand	4.70	1.91	2.79	18	0.43	18	1.03	22	2.72	17	3.00	18
Chanab	4.47	1.19	3.28	11	0.25	34	1.27	4	1.89	34	2.31	34
Hirmand	5.51	3.60	1.91	33	0.94	1	0.60	36	4.35	1	4.45	1
Alborz	4.07	1.81	2.26	29	0.35	24	0.96	26	2.51	24	2.71	24
Falat	4.77	2.45	2.32	27	0.56	8	0.84	30	3.23	8	3.42	8
Maroon	4.26	2.13	2.14	30	0.43	17	0.87	29	2.84	14	3.01	17
Golestan	3.89	2.26	1.63	36	0.42	19	0.72	33	2.86	12	2.97	19
Tajan	4.83	1.36	3.47	5	0.31	30	1.25	5	2.12	33	2.56	30
Sorkhtokhm	4.21	1.21	3.00	16	0.24	35	1.24	6	1.87	35	2.25	35
LSD 5%		*1.73*	*1.05*	-	*0.547*	-	*0.713*	-	*0.923*	-	*0.752*	-

بالاترین ضریب همبستگی عملکرد دانه در شرایط بدون تنش به ترتیب با شاخص‌های GMP، STI و HARM بدست آمد ولی در شرایط تنش دو سوم آبیاری بالاترین ضریب همبستگی عملکرد دانه به ترتیب با HARM، GMP و STI حاصل گردید. طبق نظر فرناندز (Fernandez, 1992) شاخصی که دارای همبستگی معنی‌دار و بالا با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش باشد به طوری که بر اساس نوع همبستگی باعث افزایش عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش گردد به عنوان بهترین شاخص معرفی می‌شود. نتایج ضریب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌ها در شرایط تنش یک سوم تشابه زیادی با تنش دو سوم داشت (جدول ۷). در تنش یک سوم آبیاری بین عملکرد دانه در شرایط تنش(Ys) و شاهد همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. همچنین همبستگی بین Ys و شاخص‌های STI، HARM و GMP نیز مثبت و معنی‌دار بود. همانند تنش دو سوم، در این سطح تنش نیز عملکرد دانه در شرایط تنش و شاخص‌های SSI و TOL همبستگی منفی و معنی‌دار نشان دادند. از مقایسه شاخص میانگین هندسی (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هارمونیک (HARM) مشخص گردید که انتخاب بر اساس این معیارها منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش می‌گردد. زیرا این شاخص‌ها همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با عملکرد دانه در هر دو شرایط دارند. سایر محققین نیز همین خصوصیت را برای شاخص‌های مذکور گزارش کرده‌اند. نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین نیز تشابه زیادی دارد(Fernandez, 1992; Noormand-Moayyed, 2007; Ahmadi, 2009; Shafazadeh et al. 2004; Rosielle and Hamblin, 1981).

برخی محققین تلاش‌هایی را در جهت تعیین بهترین معیار به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب برای مناطق خشک انجام داده‌اند. برای مثال اهدایی و همکاران (Ehdaie et al., 1988) گزارش کردند که همبستگی بین شاخص حساسیت به تنش (SSI) با عملکرد دانه در شرایط تنش ۰/۸۴- و با شاخص برداشت ۰/۸۳- است. در تحقیق فوق شاخص SSI و عملکرد دانه در شرایط شاهد(آبیاری) همبستگی معنی‌دار نشان نداد. نورمند موید (Noormand-Moayyed, 2007) گزارش کرد که شاخص STI و میانگین هندسی تولید (GMP) در یافتن ژنوتیپ‌هایی که پتانسیل عملکرد بالایی داشته و متحمل به تنش می‌باشند از سایر شاخص‌های معرفی شده موفق‌تر هستند. احمدی و سی‌وسه مرده (Ahmadi and Sio-Se mardeh, 2003) در تحقیقی بر روی هشت ژنوتیپ گندم دریافتند که از شاخص‌های مورد مطالعه دو شاخص تحمل به تنش (STI) و متوسط تولید (MP) در جداسازی ژنوتیپ‌های گروه Aمؤثرتر بودند.

در کل می‌توان اظهار داشت که بالاترین مقدار در مورد شاخص‌های MP و STI نشان دهنده ژنوتیپ‌های گروه A و پایین‌ترین مقدار در مورد MP و STI نشان‌دهنده ژنوتیپ‌های گروه D هستند.

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد تحت تنش دو سوم آبیاری

Table 6. Correlation coefficients between drought stress indices and grain yield in 2/3 continuous irrigation

	عملکرد بدون تنش Yp	عملکرد تنش Ys	شاخص تحمل TOL	شاخص تحمل به تنش STI	شاخص حساسیت به تنش SSI	میانگین هارمونیک بهره‌وری HARM	میانگین هندسی بهره‌وری GMP
Yp	1						
Ys	0.578**	1					
TOL	0.419**	-0.498**	1				
STI	0.813**	0.931**	-0.172	1			
SSI	0.039	-0.773**	0.902**	-0.498**	1		
HARM	0.765**	0.966**	-0.261	0.983**	-0.595**	1	
GMP	0.824**	0.938**	-0.169	0.988**	-0.520**	0.995**	1

* و**به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۷. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد تحت تنش یک سوم آبیاری

Table 7. Correlation coefficients between drought stress indices and grain yield in 1/3 continuous irrigation

	عملکرد بدون تنش Yp	عملکرد تنش Ys	شاخص تحمل TOL	شاخص تحمل به تنش STI	شاخص حساسیت به تنش SSI	میانگین هارمونیک بهره‌وری HARM	میانگین هندسی بهره‌وری GMP
Yp	1						
Ys	0.516**	1					
TOL	0.494**	-0.490**	1				
STI	0.729**	0.955**	-0.227	1			
SSI	-0.037	-0.860**	0.835**	-0.677**	1		
HARM	0.632**	0.983**	-0.355**	0.972**	-0.785**	1	
GMP	0.731**	0.955**	-0.226	0.983**	-0.698**	0.991**	1

* و**به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

با استفاده از شاخص SSI ژنوتیپ‌های گروه D و C بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز (Fernandez, 1992) از سایر گروه‌ها قابل تمایز هستند. ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس شاخص STI دارای مقادیر بالاتر این شاخص هستند، بنابراین انتظار می‌رود که با استفاده از این شاخص ژنوتیپ-های گروهAاز سایر گروه‌ها قابل تفکیک باشند. نارایان و میسرا (Narayan and Misra, 1989) در آزمایشی که به منظور بررسی مقاومت به خشکی ارقام گندم در محیط تنش و بدون تنش انجام دادند، دریافتند که شاخص SSI با عملکرد در شرایط بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۷۱) دارد. گزینش بر اساسMP عمدتاً منجر به بهبود عملکرد در محیط تنش و بدون تنش شده است، ولی قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از گروه B نیست (Fernandez, 1992). این امر به دلیل ویژگی میانگین حسابی بوده که در صورت اختلاف نسبتاً زیاد بین Yp و Ys حاصل آن باعث ایجاد اریب به سمت بالا می‌شود اما شاخص STIبر مبنای میانگین هندسی طراحی شده است. با توجه به ساختار و فرمول، GMP حساسیت کمتری به مقادیر بسیار متفاوت Yp و Ys دارد. STI و GMP به لحاظ همبستگی رتبه در یک مرتبه قرار می‌گیرند و هر چه مقادیر STI بزرگ‌تر باشد، تحمل به تنش و پتانسیل عملکرد ژنوتیپ هم بالاتر است. در شاخص STI شدت تنش نیز شرکت داشته و انتظار می‌رود که شاخص مذکور در تفکیک گروه A از گروهB و C موفق باشد (Fernandez, 1992).

با مشاهده جداول ۴ و ۵ مشخص می‌گردد که رتبه-بندی ژنوتیپ‌ها برای GMP و STI در هر دو سطح تنش یکسان است. از طرفی همبستگی مثبت و بالایی بین این دو شاخص و عملکرد دانه در سطوح شاهد و تنش دو سوم، یک سوم آبیاری نشان‌دهنده این است که دو شاخص مذکور برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها تحت تنش خشکی نسبت به سایر شاخص‌ها بسیار مناسب‌ترند. برای تعیین ژنوتیپ‌ها متحمل به خشکی و با عملکرد بالا در شرایط تنش و شاهد از نمودار سه‌بعدی استفاده گردید. با توجه به کارایی شاخص‌های GMP و STI در تعیین ژنوتیپ‌های گروه A، و از آنجایی که همبستگی بسیار زیادی بین این دو شاخص وجود دارد تنها نمودار سه‌بعدی مربوط به STI ارایه شده است (شکل ۳). در بررسی این شکل‌ها ملاحظه شد که در سطح تنش دو سوم آبیاری لاین Aو ژنوتیپ‌های سپاهان، یاواروس، بهار، کرج ۳، هیرمند، اکبری، روشن، MS18-14 و آرتا و در سطح تنش یک سوم لاین A و ژنوتیپ‌های بهار، هیرمند، یاواروس، مرودشت، آرتا و سپاهان جزو ژنوتیپ-هایی بودند که در گروه A (که نشان‌دهنده عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش) قرار گرفته‌اند. این ژنوتیپ‌ها دارای STI و GMP بالایی بودند و این مسئله سودمندی این دو شاخص را در جدا نمودن ژنوتیپ‌های گروه A از گروه‌های دیگر (B، C وD) نشان داد. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2007) از GMP، HARM و STI در گندم نان و همچنین گل‌آبادی و همکاران (Golabadi et al., 2006) شاخص‌های GMP،

STI و MP را در گندم دوروم به عنوان بهترین شاخص‌ها جهت دستیابی به ژنوتیپ‌های پرمحصول در شرایط تنش و غیر تنش معرفی کردند.

به منظور بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام شاخص‌های تحمل به خشکی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای هر یک از سطوح تنش به طور جداگانه انجام شد. نتایج این تجزیه (جداول ۸ و ۹) نشان داد که بیشترین تغییرات بین داده‌ها توسط دو مولفه اول توجیه گردید. نمودار اسکری (Scree plot)برای نمایش تغییرات مقادیر ویژه مؤلفه‌ها می‌باشد. از این نمودار برای تعیین تعداد مولفه مناسب برای تفسیر داده‌ها استفاده می‌شود. این نمودار برای تجزیه به مؤلفه‌ها در مورد سطوح تنش دو سوم و یک سوم آبیاری در شکل ۴ قابل بررسی است. طبق این نمودارها نیز مشخص است که از مولفه سوم به بعد تغییر چندانی بین مقادیر ویژه مولفه‌ها وجود ندارد. همچنین چون تنها مولفه اول و دوم دارای مقادیر ویژه بیشتر از یک هستند از آن‌ها در تفسیر نتایج استفاده شد. مقادیر و علامت ضرایب دو مولفه در هر دو سطح تنش روند مشابه‌ای داشت، به طوری که مولفه اول دارای ضرایب منفی بالا برای عملکرد در شرایط شاهد(آبیاری کامل) و تنش و شاخص‌های STI، HARM و GMP بود. بنابراین کم بودن میزان مولفه اول نشان‌دهنده بیشتر بودن مقادیر شاخص‌های مذکور در ژنوتیپ‌های گندم خواهد بود. همچنین مولفه دوم ضرایب منفی بزرگ برای عملکرد در شرایط شاهد و شاخص‌های TOL، SSI داشت. از آنجایی که مقادیر پایین شاخص‌های TOL و SSI نشان‌دهنده مقاومت به خشکی است اگر از میزان مولفه دوم کاسته شود ژنوتیپ‌های انتخاب شده دارای TOL و SSI زیاد و در عین حال عملکرد بالا در شرایط شاهد(آبیاری کامل) خواهد بود. از آنجایی که مولفه اول تغییراتی را در برمی‌گیرد که توسط مولفه دوم تبیین نمی‌شود و به عبارتی دو مولفه مستقل از همدیگر می‌باشند، به این جهت دو مولفه را به صورت دو محور عمود برهم و به شکل یک نمودار بای‌پلات (Biplot) ترسیم و از روی آن به تفسیر ارتباط بین مولفه‌ها و شاخص‌ها پرداخته می‌شود شکل ۵ نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس دو مولفه اول برای سطوح تنش دو سوم و یک سوم آبیاری را نشان می‌دهد. در این نمودارها ژنوتیپ‌ها در چهار ناحیه متمایز بر اساس مقادیر دو مولفه گروه‌بندی شدند. از آنجایی که در مورد هر دو سطح تنش مقادیر کم مولفه اول و زیاد مولفه دوم مطلوب می‌باشند بنابراین ناحیه با عملکرد بالا و تحمل به خشکی، بخش بالا و چپ نمودار است که در سطح تنش دو سوم شامل ژنوتیپ‌های مغان۱، گلستان، کویر، مارون، کرخه، چناب، بهار، سپاهان، قرمزک و تجن و در سطح تنش یک سوم شامل ژنوتیپ‌های گلستان، نیک‌نژاد، مارون، داراب، فلات، آرتا، مرودشت، بهار، هیرمند و قرمزک می‌باشد. نقطه مقابل این ناحیه (یعنی قسمت پایین و راست نمودار) نیز ژنوتیپ-هایی را در برگرفته است که عملکرد کم و حساسیت به خشکی زیادی دارند.

جدول ۸. مقادیر ویژه و بردارهای حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مقاومت به خشکی در شرایط تنش دو سوم آبیاری.

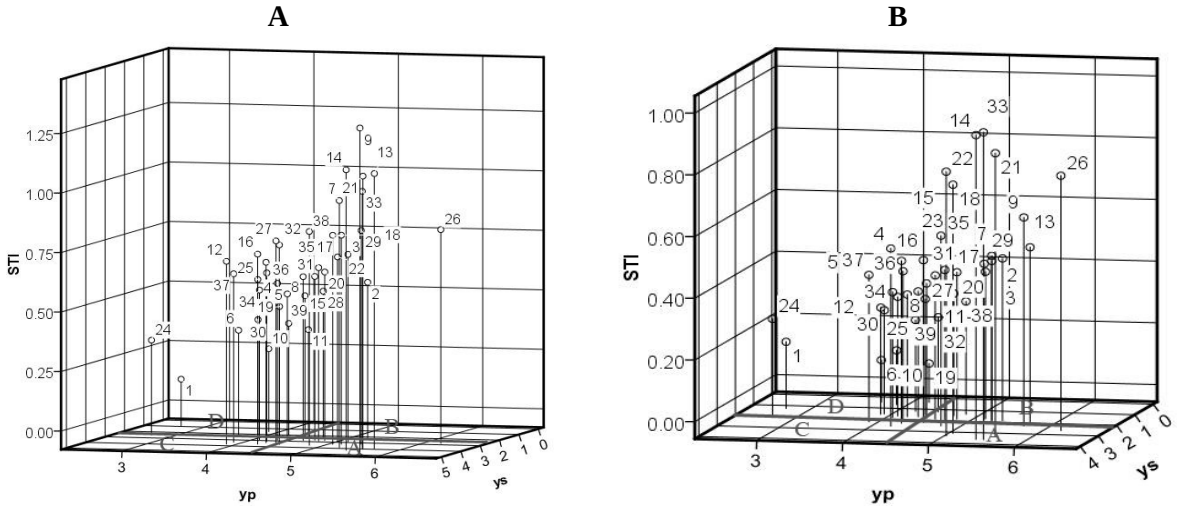
Table 8. Eigen values and cumulative variance resulted from PCA for drought stress indices in 2/3 continuous irrigation

مولفه	مقدار ویژه	واریانس	واریانس تجمعی	عملکرد بدون تنش	عملکرد تنش	شاخص تحمل	شاخص تحمل به تنش	شاخص حساسیت به تنش	میانگین هارمونیک بهره‌وری	میانگین هندسی بهره‌وری
Component	Eigen Value	Var. (%)	Cumulative Var. (%)	Yp	Ys	TOL	STI	SSI	HARM	GMP
1	4.937	70.5	70.5	-0.315	-0.444	0.160	-0.438	0.302	-0.447	-0.441
2	2.007	28.7	99.2	-0.502	0.111	-0.657	-0.136	-0.512	-0.070	-0.136

جدول۹ . مقادیر ویژه و بردارهای حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مقاومت به خشکی در شرایط تنش یک سوم آبیاری

Tab. 9. Eigen values and cumulative variance resulted from PCA for drought stress indices in 1/3 continuous irrigation

مولفه	مقدار ویژه	واریانس	واریانس تجمعی	عملکرد بدون تنش	عملکرد تنش	شاخص تحمل	شاخص تحمل به تنش	شاخص حساسیت به تنش	میانگین هارمونیک بهره‌وری	میانگین هندسی بهره‌وری
Component	Egn. Value	Var. %	Cumulative Var. %	Yp	Ys	TOL	STI	SSI	HARM	GMP
1	5.077	72.5	72.5	−0.261	−0.442	0.182	−0.431	0.365	−0.442	−0.434
2	1.873	26.7	99.3	−0.590	0.063	−0.665	−0.144	−0.404	−0.043	−0.141

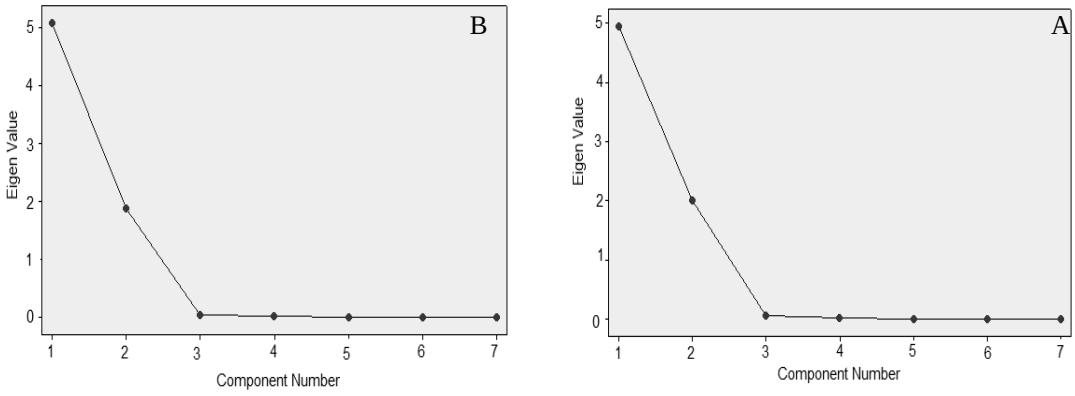


شکل ۳. نمودار سه‌بعدی جهت تعیین ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی بر اساس شاخصSTI

A: تنش دو سوم، B: تنش یک سوم آبیاری (۱. شیرودی؛ ۲. آریا؛ ۳. دریا؛ ۴. قرمزک؛ ۵. نیک نژاد؛ ۶. آتیلا۴؛ ۷. اکبری؛ ۸. قدس؛ ۹. سپاهان؛ ۱۰. آتیلا۵۰؛ ۱۱. سیستان؛ ۱۲. مغان۱؛ ۱۳. کرج۳؛ ۱۴. بهار؛ ۱۵. داراب؛ ۱۶. کویر؛ ۱۷. MS 18.14؛ ۱۸. آرتا؛ ۱۹. وری‌ناک؛ ۲۰. آزادی؛ ۲۱. یاواروس، ۲۲. مرودشت؛ ۲۳. مهدوی؛ ۲۴. چمران؛ ۲۵. طبسی؛ ۲۶. لاینA؛ ۲۷. کرخه؛ ۲۸. کرج۲؛ ۲۹. روشن؛ ۳۰. شعله؛ ۳۱. اروند؛ ۳۲. چناب؛ ۳۳. هیرمند؛ ۳۴. البرز؛ ۳۵. فلات؛ ۳۶. مارون؛ ۳۷. گلستان؛ ۳۸. تجن؛ ۳۹. سرخ‌تخم)

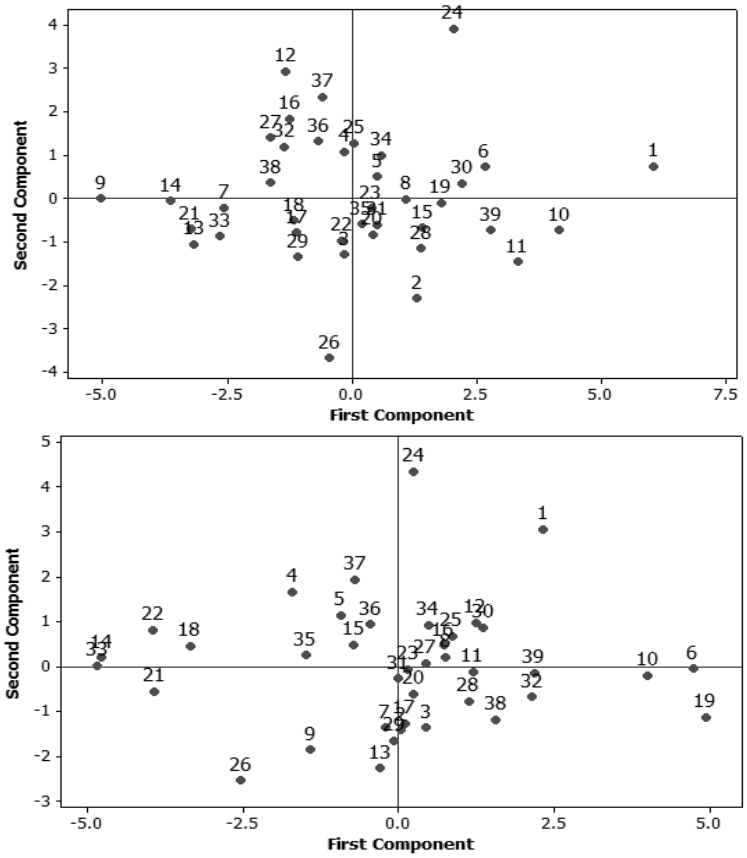
Fig. 3. 3D plot of wheat genotypes based on STI index

A: 2/3 continuous irrigation, B: 1/3 continuous irrigation (1.Shiroodi; 2. Aria; 3. Darya; 4. Germezak; 5. Kiknejad; 6. Atila4; 7. Akbari; 8. Gods; 9. Sepehan; 10. Atila50; 11. Sistan; 12. Moghan1; 13. Karaj3; 14. Bahar; 15. Darab; 16. Kavir; 17. MS 18.14; 18. Arta; 19. Verinak; 20. Azadi; 21. Yavaroos; 22. Marvdasht; 23. Mahdavi; 24. Chamran; 25. Tabasi; 26. LineA; 27. Karkheh; 28. Karaj2; 29. Roshan; 30. Sholeh; 31.Arvand; 32. Chanab; 33. Hirmand; 34. Alborz; 35. Falat; 36. Maroon; 37. Golestan; 38. Tajan; 39. Sorkhtokhm)



شکل ۴. نمودار اسکری در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط تنش دو سوم (A) و یک سوم (B) آبیاری

Fig. 4. Scree plot of PCA in (A) 2/3 and (B) 1/3continuous irrigation



شکل ۵. نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس دو مولفه اول (A) تنش دو سوم و (B) تنش یک سوم خشکی

۱. شیرودی؛ ۲. آریا؛ ۳. دریا؛ ۴. قرمزک؛ ۵. نیک نژاد؛ ۶. آتیلا۴؛ ۷. اکبری؛ ۸. قدس؛ ۹. سپاهان؛ ۱۰. آتیلا۵۰؛ ۱۱. سیستان؛ ۱۲. مغان۱؛ ۱۳. کرج۳؛ ۱۴. بهار؛ ۱۵. داراب؛ ۱۶. کویر؛ ۱۷. MS 18.14؛ ۱۸. آرتا؛ ۱۹. وری‌ناک؛ ۲۰. آزادی؛ ۲۱. یاواروس، ۲۲. مرودشت؛ ۲۳. مهدوی؛ ۲۴. چمران؛ ۲۵. طبسی؛ ۲۶. لاینA؛ ۲۷. کرخه؛ ۲۸. کرج۲؛ ۲۹. روشن؛ ۳۰. شعله؛ ۳۱. اروند؛ ۳۲. چناب؛ ۳۳. هیرمند؛ ۳۴. البرز؛ ۳۵. فلات؛ ۳۶. مارون؛ ۳۷. گلستان؛ ۳۸. تجن؛ ۳۹. سرخ‌تخم

Fig. 5. Biplot of Genotypes distribution based on two first component in (A) 2/3 and (B) 1/3continuous irrigation

1.Shiroodi; 2. Aria; 3. Darya; 4. Germezak; 5. Kiknejad; 6. Atila4; 7. Akbari; 8. Gods; 9. Sepehan; 10. Atila50; 11. Sistan; 12. Moghan1; 13. Karaj3; 14. Bahar; 15. Darab; 16. Kavir; 17. MS 18.14; 18. Arta; 19. Verinak; 20. Azadi; 21. Yavaroos; 22. Marvdasht; 23. Mahdavi; 24. Chamran; 25. Tabasi; 26. LineA; 27. Karkheh; 28. Karaj2; 29. Roshan; 30. Sholeh; 31.Arvand; 32. Chanab; 33. Hirmand; 34. Alborz; 35. Falat; 36. Maroon; 37. Golestan; 38. Tajan; 39. Sorkhtokhm).

طبق جداول و نمودارها در کل می‌توان این گونه نتیجه گیری نمود که بین ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این آزمایش از نظر تحمل به خشکی اختلافات فاحشی وجود دارد که در صورت ژنوتیپی بودن این اختلافات (نیازمند انجام آزمایشات بعدی)، می‌تواند به عنوان منبع ژنتیکی مناسب جهت بهره گیری در برنامه های اصلاح ارقام برای تحمل به تنش خشکی مورد استفاده قرار گیرد. در کل از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گلستان، مارون، بهار و قرمزک جزو ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ-های آتیلا۵۰، وری ناک، سیستان، آریا و سرخ تخم حساس به تنش در هر دو سطح تنش یک و دو سوم آبیاری بودند.

منابع

Aghaee-Sarbarzeh, M., Mohammadi, R., Haghparast, R., Rajabi, R., 2004. Evaluation of advanced lines of bread wheat for drought tolerance in Kermanshah. The 8thIranian Congress of Crop Sci, 13-15 Aug. 2004, Gilan Uni., Iran. [In Persian with English Summary].

Aghaee-Sarbarzeh, M., Rostaee, M., 2008. Evaluation of advanced bread wheat genotypes under drought stress in moderate and cold area. The 10thCongress of Crop Sciences, 18-20 Aug. 2008, SPII, Karaj, Iran. [In Persian with English Summary].

Ahmadi, A., Sio-Se Mardeh, A., 2003. Relationships among growth indices, drought resistance and yield in wheat cultivars of different climates of Iran under stress and non-stress conditions. Iranian J. Agri. Sci. 34(3), 667-669 [In Persian with English Summary].

Ahmadi, J., 2009. Study of drought resistance in commercially Late-maturing dent corn hybrids. MSc. Diss. University of Tehran. [In Persian with English Summary].

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome.

Blum, A., Gozlan, G., Mayer, J., 1981. The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm. Crop Sci. 21, 495-499.

Ehdaie, B., Wains, J. G., Hall, A.E., 1988. Differential responses of landrace and improved spring wheat genotypes to stress environments. Crop Sci. 28, 838-842.

Farshadfar, E., Sutka, J., 2003. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. Cereal Research Comm. 31(1), 33-40.

Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crop in temperature and water stress. Taiwan, pp. 257-270.

Fischer, R. A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Aust. J. Agric. Res. 29, 897-912.

Galeshi, S., Oskouie, B., 2002. Response of spring wheat to water limitation after anthesis. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 8(9), 99-113. [In Persian with English Summary].

Golabadi, M., Arzani, A., Mirmohammadi Maibody, S. A. M., 2006. Assesment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African J. Agric. Res. 1(5), 162-171.

Golparvar, A.R., 2000. Evaluation of some genotypes of wheat under drought stressed and non-stressed conditions and determination of the most suitable selection criteria in both conditions. MSc. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran [in Persian with English Summary].

Hessadi, P. 2006. Selection for drought resistance in lines of barley in Kermanshah region. J. Agric. Sci. 1, 143-153.

Karami, E., Ghannadha, M.R., Naghavi, M.R., Mardi, M., 2006. Detection of drought tolerant cultivars in barley. Iranian J. Agric. Sci. 37, 371-379 [In Persian].

Mohammadi, A., Majidi, A. Bihamta, M.R., Heidari Sharif Abad, H., 2007. Evaluation of drought stress on the morphological characteristics of the wheat crop. Res. Develop. Agric. Horti. 73, 184-192. [In Persian with English Summary].

Narayan, D., Misra, R.D., 1989. Drought resistance in varieties of wheat in relation to root growth and drought indices. Indonesian J. Agric. Sci. 59(9), 595-598.

Noormand-Moayyed, F., 2007. Evaluation of quantitative traits and their relationship with bread wheat yield in rain-fed and watered conditions and identifying the best drought resistance index. M. Sc. Of plant breeding thesis. Faculty of agriculture. University of Tehran, 127p. [In Persian with English Summary].

Pordad, S.S. Alizadeh, KH., Azizinejad, R., Abdollah, SH,. Eskandari, M., Kheyavi, M,. Nabati, E., 2008. Evaluation drought resistance in spring *Carthamus tinctorius* in different area. Sci. Technol. Agric. Natur. 12, 403-415 [In Persian].

Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Sci. 21, 943-946.

Sabzi, Z., Pakniat, H., 2006. Evaluation of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) in two favored and rainfed conditions in ilam region. Proceedings of 9th Iranian Crop Science Congress, Aug. 27-29, Aboureyhan Campus. University of Tehran, Tehran, Iran, 576p. [In Persian with English Summary].

Sanjari, A.G., Vallizadeh, M., Majidi Hervan, E., Shiri, M.R., 2006. Evaluation of response of new wheat cultivars to various drought stress conditions for grain yield and some other agronomical and physiological traits. Agric. Sci. 16 (3), 97-112 [In Persian with English Summary].

Saulescu, N.N., Ittu, G., Balota, M., Ittu, M., Mustatea, P., 1998. Breeding wheat for lodging resistance, earliness and tolerance to abiotic stresses. Kluwer Academic Pub. Netherlands, pp. 181-188.

Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A., Hassanpanah, D., 2008. Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. Pakistan J. Biol. Sci. 11(10), 1330-1335.

Shafazadeh, M.K., Yazdansepas, A., Amini, A., Ghannadha, M.R., 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. Seed Plant Improve. J. 20(1), 57-71. [In Persian with English Summary].

Trethowan, R.M., Reynolds, M., 2007. Drought Resistance: Genetic Approaches for Improving Productivity under Stress. In: Buck H.R. et al. (Eds): Wheat Production in Stressed Environments. Springer Pub., the Netherlands. pp. 289-299.

Zebarjadi, A.R., 2008. Study on effects of drought stress on yield and yield components in some of rapeseed (*Brassica napus*) winter genotypes. Final Report of Research No. 542. Razi University . [In Persian with English Summary].