تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی
جلد هشتم، شماره اول، نیمه اول ۹۴
۱۳-۲۳

ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان برای تحمل به تنش رطوبتی انتهای فصل

احمد جعفرنژاد[1*]، حسین آقایی[2]

۱. استادیار پژوهش ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی نیشابور؛ ۲ کارشناس ارشد زراعت ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی نیشابور.

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۸/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم، شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بر اساس شاخص‌های کمّی تحمل به خشکی،تعداد ۱۶ ژنوتیپ گندم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی نیشابور طی سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ مورد آزمایش قرار گرفتند. شاخص‌های مورداستفاده میانگین تولید(MP)، میانگین هندسی تولید(GMP)، میانگین هارمونیک(HMP)، شاخص تحمل به تنش(STI)، شاخص حساسیت به تنش(SSI)، شاخص تحمل(TOL) و شاخص پایداری لین و بینز(Pi) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد در شرایط تنش(Ys) و نیز بیشترین مقادیر MP، GMP، HMP، STIو Pi متعلق به ژنوتیپ شماره ۲ بود. تحلیل همبستگی بین شاخص‌ها و میانگین عملکرد در شرایط آبیاری مطلوب و محدود نشان داد که هر پنج شاخص مذکور برای غربال کردن ژنوتیپ‌ها مناسب هستند. با توجه به این شاخص‌ها و عملکرد در دو محیط، بهترین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های شماره۲، ۱۱، ۱۴ بودند. نمودار چند متغیره دوطرفه نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۲ ، ۱۱ ، ۱۴ در مجاورت شاخص‌های تحمل به خشکی یعنی MP، GMP، HMPوSTI قرار دارند. نتایج حاصل از تجزیه کلاستر نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۲ ،۱۱ و ۱۴ ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و ژنوتیپ-های۳، ۸،۹ و۱۳ لاین‌های حساس به خشکی می‌باشند.

***واژه‌های کلیدی*: تنش خشکی، شاخص‌های تحمل، تجزیه کلاستر.**

مقدمه

خشکی و تنش ناشی از آن مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش محیطی است که تولید گیاهان زراعی را در جهان با محدودیت روبرو ساخته است. اکثر محصولات زراعی در مراحل مختلف رشدونمو با نوعی تنش آب مواجه می‌شوند و تغییرات روزانه وضعیت داخلی آب خود را حتی در شرایط آبیاری معمولی نیز نشان می‌دهند (Slafer, 1994). به نظر می‌رسد ارقامی که در شرایط آبیاری مطلوب و آبیاری محدود، عملکرد یکسانی داشته باشند و یا حداقل تفاوت عملکرد آن‌ها در این دو وضعیت زیاد نباشد، دارای تحمل نسبی بیشتری به خشکی می‌باشند. روزیو (Ruziev, 1973) ارقام مختلف گندم را تحت شرایط آبیاری و دیم مورد مقایسه قرار داد و نتیجه گرفت ارقامی که در شرایط دیم بیشترین عملکرد دانه را داشتند، در شرایط آبیاری نیز دارای عملکرد بالایی بودند. کلهوم و همکاران (Calhoum et al., 1994) گزارش نمودند ارزیابی همزمان گندم در شرایط تنش و غیر تنش موجب گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد برتر در هر دو محیط می‌شود. بنابراین بررسی صفات مختلف ازجمله عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و غیر تنش به‌عنوان یک نقطه شروع برای شناخت فرآیند تحمل به خشکی و انتخاب ژنوتیپ‌ها برای اصلاح در محیط‌های خشک است (Farshadfar et al., 2001).

فیشر و مورر (Fisher and Maurer, 1978) اظهار داشتند که عملکرد بالا در شرایط تنش، یا در اثر مکانیسم

نگارنده پاسخگو: احمد جعفرنژاد. آدرس: نیشابور، ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی نیشابور، صندوق پستی ۵۸۷
پست الکترونیک: ajafarnezhad@yahoo.com

فرار از تنش خشکی است یا به دلیل سازگاری رقم در اثر فرآیندهای خاص در شرایط تنش بوده که باعث تحمل به خشکی می‌شود. بنابراین معیاری رابر اساس عملکرد و ثبات آن برای ارزیابی ژنوتیپ ها از لحاظ واکنش به تنش خشکی پیشنهاد کردند. این معیار به‌عنوان شاخص حساسیت به تنش[1] (SSI) برمبنای عملکردهای محیط تنش و غیرتنش مطرح شد. بین این شاخص و عملکرد درشرایط با رطوبت بالا همبستگی وجود دارد. رایزا وهمکاران (Rizza et al., 2004) از شاخص حساسیت به تنش فیشر و مورر در جو استفاده کردند.آن‌ها ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های مختلف بر اساس عملکرد از بالا به پایین مرتب نموده و مشاهده نمودند 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. روزیل و هامبلین (Rosielle and Hambline, 1981) بر اساس شاخص تحمل (TOL) یا تفاوت عملکرد دو ژنوتیپ در دو محیط نرمال و تنش، و متوسط تولید[2](MP) یا میانگین عملکرد هر ژنوتیپ در دو محیط نرمال و تنش، بیان کردند که بر این اساس مقدار بالای TOL نشان دهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش است. به نظر می‌رسد ارقامی که در شرایط آبیاری مناسب ومحدود عملکرد یکسانی داشته باشند و یا تفاوت عملکرد آن‌ها کم باشد به خشکی تحمل نسبی دارند (Farshadfar et al., 2001).

شاخص‌های متعددی برای تحمل به تنش ارائه شده‌اند، ولی به‌طورکلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و عدم تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد بالا باشند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی ژنوتیپ های با عملکرد بالا در هر محیط هستند و می‌توان از آن‌ها برای تخمین پایداری عملکرد استفاده کرد (Bansal and Sinha, 1991) و انتخاب بر اساس این شاخص‌ها عملکرد را در محیط‌های تنش افزایش می‌دهد. فرناندز (Fernandez, 1992) 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) وعملکرد پایین در هر دو محیط (D)، تقسیم کرد. وی بیان کرد که انتخاب بر اساس شاخص‌های TOL و MP، ژنوتیپ‌های گروه‌هایB و D را تفکیک می‌نماید. 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 (Rosielle and Hambline, 1981; Farshadfar et al., 2001). هنگامی‌که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش وجود داشته باشد، شاخصMP دارای اریبی به سمت عملکرد در شرایط غیر تنش می‌شود. فرناندز (۱۹۹۳)برای رفع این مشکل خاص، میانگین هندسی عملکرد (GMP) که بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود، را ارائه نمود. چون این شاخص به مقادیر متفاوت عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش حساسیت کمتری دارد، فرناندز شاخص دیگری به نام شاخص تحمل به تنش[3] (STI) را به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش و دارای پتانسیل تحمل به خشکی معرفی کرد که می‌تواند گروه‌های B و C را از یکدیگر تفکیک کند. در شاخص مذکور، شدت تنش[4] (SI) دخیل بوده و مقادیر عملکرد در دو محیط را در نظر می‌گیرد و می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر ژنوتیپ‌ها تفکیک نماید، بنابراین شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است. در تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، مقادیر بالای GMP و STI موردنظر است. اسماعیل‌زاده مقدم (Esmailzadeh-Moghaddam, 2004) 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 دارد و در بین آن‌ها شاخص تحمل به تنش از قابلیت بیشتری در تمایز ارقام برخوردار است. نورمند موید و همکاران (Nourmand Moaiyed et al., 2001) در بررسی ارقام گندم نان در شرایط تنش خشکی و بدون تنش، با رسم نمودار سه‌بعدی عملکرد ارقام در هر دو محیط و

[1]. Stress Susceptibility Index
[2]. Mean Productivity
[3]. Stress Tolerance Index
[4]. Stress Index

شاخص‌های میانگین هندسی (GMP) و شاخص تحمل به تنش (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.

هدف از این پژوهش بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ های گندم ازنظر تحمل به خشکی، انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به خشکی و در نهایت شناسایی ژنوتیپ-های متحمل به خشکی آخر فصل بود .

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی لاین‌های گندم در پاسخ به تنش رطوبتی، و شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی، تعداد ۱۶ لاین گندم (جدول ۱) به‌صورت دو آزمایش جداگانه در دو شرایط بدون تنش و دیگری در شرایط تنش خشکی آخر فصل در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی نیشابور با مختصات طول جغرافیایی ۳۶' ۳۷° شمالی و عرض جغرافیایی ۵۴' ۴۸° شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۰ متر طی سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ اجرا شد. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شدند. در یک آزمایش آبیاری مطلوب و مناسب با شرایط منطقه و در آزمایش دیگر، قطع آبیاری انتهای فصل صورت پذیرفت؛ یعنی از زمان ظهور سنبله‌ها، آبیاری قطع شد و هیچ‌گونه آبیاری تا انتهای فصل انجام نشد.

پس از آماده‌سازی زمین بر اساس مشخصات شیمیایی خاک و حاصلخیزی آن، میزان ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار قبل از کاشت مصرف شد و سپس با دستگاه جوی‌وپشته‌ساز ردیف‌هایی با عرض ۶۰ سانتی‌متر ایجاد شد. هر واحد آزمایشی شامل ۶ ردیف گندم به طول ۶ متر بود که سه خط با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بر روی هر پشته کاشت شد. هر کرت شامل ۲ پشته بود. به‌این‌ترتیب مساحت هر واحد آزمایش برابر با ۷/۲ مترمربع بود. کاشت با دستگاه بذرکار آزمایش‌های غلات و با تراکم ۴۰۰ دانه در مترمربع صورت گرفت. میزان ۲۰۰ کیلوگرم کود اوره به‌صورت سرک در دو نوبت به میزان۱۰۰ کیلوگرم در زمان پنجه‌زنی و ۱۰۰ کیلوگرم در زمان ساقه رفتن مصرف شد. جهت کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک برگ از علف‌کش 2,4-D و پوماسوپر به ترتیب به میزان ۱/۵ و یک لیتر در هکتار استفاده شد.

جدول۱-شجره لاین های مورد آزمایش

Table 1: Pedigree of lines of study

Ent. شماره ژنوتیپ	Pedigree شجره
WS-86-1	WS-82-9 (Check)
WS-86-2	DN-11(2nd Check)
WS-86-3	EVWYT2/Azd//Rsh*2/10120/3/1-66-75//Rsh*2/10120
WS-86-4	CMH80-279/Pastor
WS-86-5	Shi#4414/Crow"S"//Azd
WS-86-6	Shi#4414/Crow"S"//Azd
WS-86-7	Pastor/Alvd
WS-86-8	SW89.5181/KAUZ
WS-86-9	VEE/PJN//KAUZ/3/PASTOR
WS-86-10	OTUS/TOBA97
WS-86-11	MUNIA/3/RUFF/FGO//YAV79/4/PASTOR
WS-86-12	PJN/BOW//OPATA*2/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA
WS-86-13	VORONA/CNO79//KAUZ/3/MILAN
WS-86-14	KAUZ/PASTOR
WS-86-15	SUNCO/2*PASTOR
WS-86-16	ATTILA/BABAX//PASTOR

ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی با استفاده از شاخص‌ها به شرح زیر انجام شد(Fisher and Fernandez, 1992; Maurer, 1978; Rosielle and Hambline, 1981;):

$$MP=\frac{y_p+y_s}{2} \qquad SSI=\frac{1-(y_s/y_p)}{SI}$$

$$GMP=\sqrt{y_p\times y_s} \qquad TOL=y_p-y_s$$

$$HARM=\frac{2(y_p\times y_s)}{y_p+y_s} \qquad STI=\frac{y_p\times y_s}{\bar{y}_p^2}$$

$$HARM=\frac{2(y_p\times y_s)}{y_p+y_s} \qquad Pi=\sum_{j=1}^{n}\frac{(y_{ij}-M_j)2}{2n}$$

که در این فرمول‌ها، y_p، میانگین عملکرد ژنوتیپ در شرایط آبی؛ y_s، میانگین عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش؛ $\bar{y}_p$، میانگین کلیه ژنوتیپ ها در شرایط آبی؛ $\bar{y}_s$، میانگین کلیه ژنوتیپ ها در شرایط تنش؛ SI، شدت تنش؛ μj،حداکثر عملکرد در محیط jام؛ yij، عملکرد ژنوتیپ iام در محیط jام؛ n، تعداد محیط.

پس از محاسبه شاخص‌های کمّی فوق، همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد و اجزای عملکرد محاسبه شد. همچنین معادلات رگرسیونی برای برخی از شاخص‌ها برآورد گردید. به‌منظور انتخاب چند متغیره از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودار دوطرفه، از نرم‌افزار STATGRAPH استفاده شد. بررسی تنوع ژنتیکی لاین‌ها و انتخاب لاین‌های مطلوب از روش تجزیه کلاستر (روش Ward) انجام شد.جهت تجزیه نتایج از نرم‌افزار JMP استفاده شد.

نتایج و بحث

جهت شناسایی متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی با استفاده از مناسب‌ترین شاخص‌ها، از هفت شاخص تحمل و حساسیت به خشکی استفاده شد (جدول۲).

از مقایسه میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HMP)، شاخص تحمل به خشکی (STI) و شاخص پایداری (Pi) لین و بینز(Lin and Binns, 1988) ژنوتیپ‌ها، مشخص شد که انتخاب بر اساس این معیارها منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط می‌شود. سایر محققین نیز این معیارها را برای شاخص‌های مذکور گزارش کرده‌اند (Rosielle and Hambline, 1981; Shafazadeh et al., 2004).

با استفاده از شاخص‌های MP، GMP، HMP، STI و Pi ژنوتیپ شماره ۲ یعنی لاین DN-11 برترین ژنوتیپ شناخته شد. این لاین با عملکرد ۸/۰۹۰ تن در هکتار در محیط بدون تنش عملکرد قابل قبولی را دارا بود. این ژنوتیپ در محیط تنش نیز با عملکرد ۷/۱۱۳ تن در هکتار بیش‌ترین میزان عملکرد را به خود اختصاص داد. پس از آن ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ و ۱۱ دارای بیش‌ترین مقادیر MP، GMP، HMP، STI و Pi بودند. این دو ژنوتیپ به ترتیب دارای بیش‌ترین عملکرد در محیط تنش بعد از ژنوتیپ DN -11 بودند (جدول۲).

بر اساس معیار تحمل به خشکی (TOL)، ژنوتیپ شماره ۸ که بیش ترین تحمل به خشکی (کم‌ترین TOL) را دارا بود از عملکرد مناسبی در شرایط بدون تنش برخوردار نبود (جدول ۲). از نظر این شاخص، معمولاً ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالایی دارند تحمل مطلوبی به تنش خشکی نشان نمی‌دهند.

بر اساس شاخص حساسیت به خشکی (SSI)، ژنوتیپ شماره ۱۴ کم‌ترین میزان (متحمل‌ترین ژنوتیپ) را به خود اختصاص داد که از نظر شاخص‌های STI، GMP، MP، HMP و Pi در رده سوم قرار داشت (جدول ۲). شاخص‌های TOL و SSI در گزینش ژنوتیپ‌هایی موفق بودند که عملکرد آن‌ها در شرایط تنش مناسب بود، ولی در گزینش ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد دانه مناسبی بودند توفیق چندانی نداشتند. بنابراین در این آزمایش نیز از این شاخص‌ها به‌تنهایی برای گزینش ژنوتیپ‌ها استفاده‌نشده است.

شاخص‌های TOL و SSI به‌نوعی حاکی از تغییرات عملکرد در شرایط عادی و تنش هستند؛ به‌عبارت‌دیگر، ژنوتیپ‌هایی که دارای شاخص TOL و SSI پایین‌تری می‌باشند، تغییرات کم‌تر یا ثبات بیش‌تری در تغییر شرایط تنش به عدم تنش و بالعکس از لحاظ عملکرد دارند. به عقیده بلوم (Blum,1988) یک ژنوتیپ با عملکرد مناسب تحت شرایط مطلوب، عملکرد خوبی هم در شرایط کمتر مساعد نیز باید داشته باشد تا به‌عنوان یک رقم اصلاح‌شده برای شرایط تنش در نظر گرفته شود، به‌عبارت‌دیگر واریانس یا تغییرات عملکرد آن باید پایین باشد.

ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی انتهای فصل و بدون تنش با شاخص‌ها در جدول شماره ۳ نشان داده‌شده است. همبستگی بین عملکرد دانه

در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) مثبت و غیر معنی‌دار (r=۰/۳۶) بود. بنابراین می‌توان از طریق گزینش در شرایط نرمال برای بهبود و اصلاح تحمل به خشکی استفاده شود.

همبستگی عملکرد در شرایط تنش با کلیه شاخص‌های موردبررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). عملکرد دانه با شاخص‌های TOL، SSI و Pi دارای همبستگی منفی بوده و با بقیه شاخص‌ها همبستگی مثبت داشت. عملکرد دانه در شرایط بدون تنش با شاخص‌های MP، GMP، HMP، STI و Pi همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت، به‌طوری‌که همبستگی با Pi منفی و با بقیه شاخص‌ها مثبت بود. بین شاخص‌های SSI و TOL با عملکرد در محیط بدون تنش هم‌بستگی غیر معنی‌دار بود (جدول۳). شاخص‌های MP و SSI در جهت بالا بردن پتانسیل عملکرد عمل کرده و در اکثر آزمایش‌ها عملکرد، همبستگی بین MP و STI با Ys نیز مثبت است (Rosielle and Hambline, 1981). نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین نیز مطابقت داشت(Shafazadeh et al., 2004; Ahmadi, 1992; Fernandez, 1992).

در جدول ۲ مشاهده می‌شود رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها برای MP، GMP، HMP، Pi و SSI یکسان است. از طرفی همبستگی بسیار معنی‌داری بین این شاخص‌ها با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش وجود داشت (جدول۳). بنابراین پنج شاخص فوق می‌توانند جهت ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها سودمند و مؤثر باشند. در محیط بدون تنش شاخص SSI با عملکرد همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری داشت (جدول۳) و علیرغم همبستگی پایین شاخص SSI با عملکرد در شرایط بدون تنش، این شاخص نقش اساسی در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش داشت.

جدول۲. میانگین شاخص‌های مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌های گندم

Table2.Mean of drought tolerance indices of wheat genotypes.

ژنوتیپ‌ها Genotypes	عملکرد پتانسیل YP	عملکرد در محیط تنش YS	شاخص تحمل TOL	میانگین تولید MP	میانگین هندسی تولید GMP	میانگین هارمونیک تولید HMP	شاخص تحمل به تنش STI	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص پایداری لین و بینز PI
WS-87-1	7.351	5.327	2.024	6.339	6.258	6.177	0.728	1.096	1.008
DN-11	8.090	7.113	0.977	7.601	7.586	7.570	1.069	0.481	0.008
WS-87-3	6.773	3.321	3.452	5.047	4.743	4.457	0.418	2.029	4.155
WS-87-4	7.744	5.889	1.845	6.821	6.759	6.697	0.849	0.948	0.438
WS-87-5	7.201	6.000	1.201	6.600	6.573	6.546	0.803	0.664	0.595
WS-87-6	7.374	5.512	1.862	6.443	6.375	6.308	0.755	1.005	0.841
WS-87-7	8.125	5.368	2.757	6.746	6.604	6.465	0.811	1.351	0.766
WS-87-8	5.770	5.069	0.701	5.419	5.408	5.397	0.544	0.484	2.607
WS-87-9	6.081	5.280	0.801	5.680	5.666	5.652	0.597	0.524	2.038
WS-87-10	7.223	5.758	1.465	6.490	6.449	6.408	0.773	0.807	0.733
WS-87-11	8.266	6.283	1.983	7.274	7.207	7.139	0.965	0.955	0.172
WS-87-12	7.034	5.965	1.069	6.499	6.477	6.455	0.780	0.605	0.711
WS-87-13	6.509	4.582	1.927	5.545	5.461	5.378	0.554	1.179	2.377
WS-87-14	7.487	6.770	0.717	7.128	7.119	7.110	0.942	0.381	0.183
WS-87-15	8.270	5.229	3.041	6.749	6.576	6.407	0.804	1.464	0.887
WS-87-16	8.063	4.406	3.657	6.234	5.960	5.698	0.660	1.806	1.843

بین صفات عملکرد، تعداد روز تا ظهور سنبله، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، طول سنبله و تعداد دانه در سنبله با شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI همبستگی مثبت و معنی‌دار و با شاخص Pi همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود داشت. هم‌چنین همبستگی شاخص‌های مذکور با شاخص برداشت بسیار بالا و در سطح

احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). شاخص SSI باصفت تعداد روز تا ظهور سنبله دارای همبستگی مثبت و با صفت وزن هزار دانه دارای همبستگی منفی در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول۳). در این پژوهش روابط رگرسیونی بین هر یک از شاخص‌های MP، STI، Pi به‌عنوان متغیر تابع و صفات مذکور به‌عنوان متغیرهای مستقل، موردبررسی قرار گرفت (جداول ۴ تا ۶). برآورد بهترین معادلات رگرسیون برای شاخص‌های MP، STI و Pi نشان داد که مهم‌ترین صفت تأثیرگذار بر روی این شاخص‌ها، صفت شاخص برداشت بود، به‌طوری‌که این صفت به ترتیب ۸۷، ۸۷ و ۸۱ درصد از تغییرات کل مربوط به هر یک شاخص‌های فوق را توجیه نمود (جداول ۴ تا ۶).

برای شاخص MP علاوه بر HI، صفت تعداد دانه در سنبله هم وارد مدل شد که ۴ درصد از تغییرات را توجیه نمود (جدول ۶). بنابراین نتایج بیانگر این مطلب هستند که برای بهبود شاخص‌های MP، STI و Pi که شاخص‌های مؤثری در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بودند، باید شاخص برداشت را به‌عنوان صفت تأثیرگذار بر روی این شاخص‌ها، بهبود و اصلاح نمود. برخی محققین دیگر نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند(Nourmand Moaiyed et al., 2001).

برای این‌که روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی در یک شکل واحد (شکل۱) ارائه شود، ابتدا بر اساس داده‌های جدول ۷، تجزیه به مؤلفه اول بیان شد. مؤلفه اول دارای ضرایب مثبت و بالا برای شاخص‌های MP، GMP، STI،HMP و Ys، و برای شاخص Pi دارای ضریب منفی و بالا بود. بنابراین می‌توان مؤلفه اول را به‌عنوان مؤلفه تحمل به خشکی نام‌گذاری کرد و بنابراین هرچه مقدار این مؤلفه بیشتر باشد بهتر است. از طرفی این مؤلفه با Ys همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.بنابراین علاوه بر این‌که ژنوتیپ‌های متحمل را برمی‌گزیند، عملکرد بالا در شرایط تنش را هم در نظر می‌گیرد.

مؤلفه دوم که همبستگی منفی و معنی‌داری با Ys و همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های TOL و SSI داشت را می‌توان به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش نام‌گذاری کرد، زیرا این مؤلفه قادر به جداسازی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط تنش و مقادیر بالای TOL و SSI بود.

با افزایش مؤلفه دوم ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که همانند ژنوتیپ‌های شماره ۸ و ۱۴ دارای حساسیت به تنش کم‌تری هستند. انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس TOL و SSI بیش‌تر در ژنوتیپ‌هایی مطلوب است که در شرایط تنش دارای عملکرد بالا و در شرایط غیرتنش دارای عملکرد پایین یا متوسط می‌باشند. با توجه به دو مؤلفه اول و دوم، ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مشخصی قرار می‌گیرند که مرتبط با میانگین عملکرد دانه و تحمل به تنش آن‌هاست. نمودار دوطرفه (شکل ۱) نشان داد ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۲ و ۱۴ در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی یعنی MP، GMP، HMP و STI قرار دارند. هم‌چنین این ژنوتیپ‌ها در مقایسه با شاخص‌های مهم تحمل به خشکی به Ys تمایل بیش‌تری دارند و این موضوع نشان می‌دهد که تحمل به خشکی در این ژنوتیپ‌ها بیش‌تر به علت عملکرد بالای آن‌ها در شرایط تنش خشکی است. ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۶ که در مجاورت بردارهای مهم حساسیت به خشکی یعنی TOL و SSI قرار داشتند، ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند. ژنوتیپ‌های ۱۳، ۸ و ۹ هم که در مجاورت بردار Pi قرار داشتند، ژنوتیپ‌های حساس بودند. به عبارتی مقادیر بیش‌تر Pi بیانگر حساسیت بیش‌تر ژنوتیپ‌ها به تنش است. یعنی هرچه مقدار Pi کم‌تر باشد از نظر تحمل به خشکی مطلوب‌تر می‌باشد. سایر ژنوتیپ‌هایی که در بین شاخص‌های مهم تحمل به‌خشکی و شاخص‌های حساسیت به خشکی (TOL و SSI) قرار داشتند، ژنوتیپ‌های نیمه حساس به‌خشکی بودند. به‌طورکلی، می‌توان این نحوه توزیع لاین‌ها در فضای بای‌پلات را حاکی از وجود تنوع ژنتیکی لاین‌ها نسبت به خشکی دانست. هم‌چنین نمودار دوطرفه، زاویه بین شاخص‌های انتخابی MP، HMP، GMP و STI را حاده نشان می‌دهد که دلالت بر وجود هم‌بستگی بالا بین این شاخص‌هاست. هم‌بستگی بین شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI با شاخص Pi نیز بسیار معنی‌دار ولی در جهت منفی است که در نمودار دوطرفه این مورد نیز کاملاً مشهود است

جدول ۳. ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به خشکی و صفات اجزای عملکرد در ژنوتیپ‌های گندم.

Table 3. Correlation coefficients among drought tolerance indices and yield components in bread wheat genotypes.

صفات / Traits†	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	0.36														
3	0.45	-0.67**													
4	0.79**	0.86**	-0.19												
5	0.71**	0.91**	-0.30	0.99**											
6	0.64**	0.94**	-0.39	0.98**	0.99**										
7	0.71**	0.91**	-0.30	0.99**	0.99**	0.99**									
8	0.29	-0.78**	0.98**	-0.36	-0.46	-0.54*	-0.45								
9	-0.63**	-0.90**	0.36	-0.94**	-0.96**	-0.97**	-0.94**	0.51*							
10	0.19	-0.38	0.52*	-0.14	-0.20	-0.25	-0.17	0.52*	0.31						
11	-0.07	-0.14	0.08	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14	0.08	0.12	0.07					
12	-0.10	-0.51*	0.41	-0.39	-0.43	-0.46	-0.42	0.48	0.47	0.20	0.13				
13	0.08	-0.16	0.22	-0.06	-0.09	-0.12	-0.08	0.20	0.13	0.39	0.46	0.34			
14	0.29	0.50*	-0.24	0.49	0.50*	0.51*	0.50*	-0.32	-0.50*	0.10	0.06	-0.46	0.26		
15	0.02	0.56*	-0.52*	0.38	0.44	0.48	0.43	-0.54*	-0.51*	-0.57*	-0.07	-0.19	-0.26	-0.19	
16	0.67**	0.87**	-0.29	0.94**	0.94**	0.94**	0.94**	-0.43	-0.90**	-0.31	-0.20	-0.36	-0.10	0.49	0.39

†1. عملکرد در شرایط آبیاری کامل؛ 2. عملکرد تنش؛ 3. شاخص تحمل؛ 4. میانگین حسابی تولید؛ 5. میانگین هندسی تولید؛ 6. میانگین هارمونیک تولید؛ 7. شاخص تحمل به تنش؛ 8. شاخص حساسیت به تنش؛ 9. شاخص پایداری لین و بینز؛ 10. تاریخ ظهور سنبله؛ 11. ارتفاع بوته؛ 12. تعداد سنبله در واحد سطح؛ 13. طول سنبله؛ 14. تعداد دانه در سنبله؛ 15. وزن هزار دانه؛ 16. شاخص برداشت.

† 1. Yp; 2. Ys; 3. TOL; 4. MP; 5. GMP; 6. HMP; 7. STI; 8. SSI; 9. Pi; 10. Heading time; 11. Plant height; 12. Spike per unit area; 13. Spike Length; 14. Grain per Spike; 15. 1000 grain weight; 16. Harvest Index.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

*, **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴. تجزیه رگرسیون مرحله‌ای برای STI

Table 4. Analysis of stepwise regression for STI

Variable of regression	متغیر رگرسیون	ضریب تبیین Coefficient of determination	ضریب تبیین جزئی Partial coefficient of determination	ضریب رگرسیون Regression coefficient
Intercept	عرض از مبدأ	-	-	-0.3385
Harvest Index(HI)	شاخص برداشت	0.3385	0.381	0.0381

STI=0.3385+0.381HI

جدول ۵. تجزیه رگرسیون مرحله‌ای برای Pi

Table 5. Analysis of stepwise regression for Pi

Variable of regression	متغیر رگرسیون	ضریب تبیین Coefficient of determination	ضریب تبیین جزئی Partial coefficient of determination	ضریب رگرسیون Regression coefficient
Intercept	عرض از مبدأ	-	-	8.12
Harvest Index(HI)	شاخص برداشت	0.81	0.81	-0.241

Pi= 8.12-0.241HI

جدول ۶. تجزیه رگرسیون مرحله‌ای برای MP

Table 6. Analysis of stepwise regression for MP

Variable of regression	متغیر رگرسیون	ضریب تبیین Coefficient of determination	ضریب تبیین جزئی Partial coefficient of determination	ضریب رگرسیون Regression coefficient
Intercept	عرض از مبدأ	-	-	-4.45
Harvest Index(HI)	شاخص برداشت	0.87	0.87	0.165
Grain per spike(GS)	تعداد دانه در سنبله	0.91	0.04	0.39

MP=-4.45+0.165HI+0.39GS

جدول۷: مقادیر و بردارهای ویژه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی

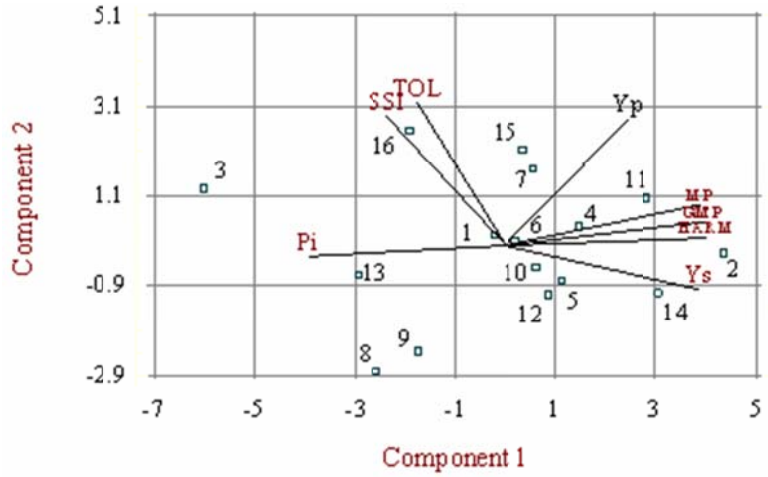
Table 7: Eigen value and Eigen vector from principal components for drought tolerate indices

مؤلفه‌های اصلی PCA	مقدار ویژه Eigen value	درصد واریانس تجمعی cumulative percent variance	عملکرد پتانسیل Yp	عملکرد در شرایط تنش Ys	شاخص تحمل TOL	میانگین تولید MP	میانگین هندسی تولید GMP	میانگین هارمونیک تولید HMP	شاخص تحمل به تنش STI	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص پایداری لین و بینز Pi
PCA1	6.635	73.728	0.235	0.373	-0.169	0.375	0.384	0.388	0.382	-0.226	-0.376
PCA2	2.286	99.128	0.525	-0.182	0.594	0.169	0.096	0.032	0.097	0.536	-0.044

ژنوتیپ‌ها برمبنای عملکرد در شرایط مطلوب، تنش، MP، GMP، HMP، STI و Pi با استفاده از تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) به روش ward گروه‌بندی شدند و دندوگرام مربوطه رسم شد (شکل۲). هدف از تجزیه خوشه‌ای شناسایی لاین‌هایی بود که دارای بیش‌ترین فاصله ژنتیکی با یکدیگر از نظر معیارهای مذکور بودند.

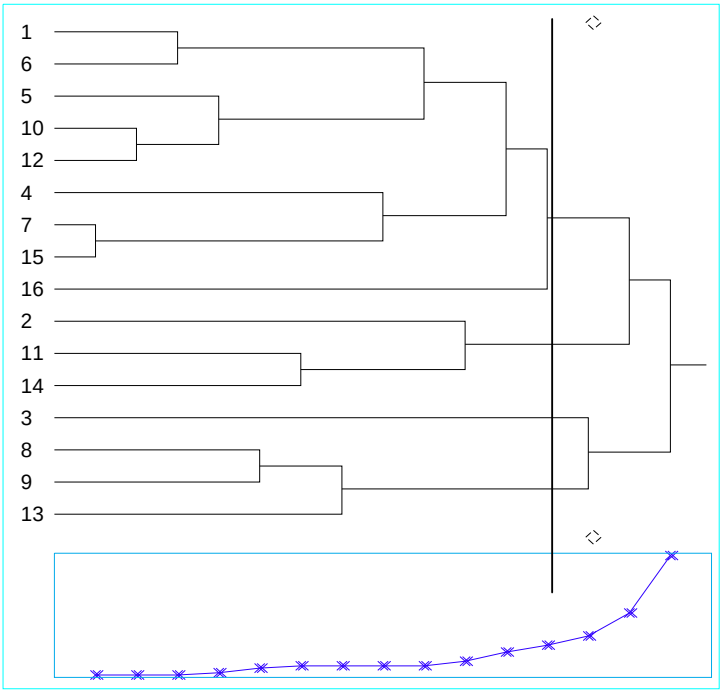
با توجه به شاخص‌های یادشده ژنوتیپ‌ها در سه گروه جداگانه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۸، ۹ و ۱۳ در یک گروه قرار گرفتند.این گروه از نظر شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI در حد پایین و از نظر شاخص Pi در حد بالایی قرار داشته و دارای Yp و Ys پایینی بودند، پس این ژنوتیپ‌ها حساس به خشکی بودند. ژنوتیپ‌های

شماره ۲، ۱۱ و ۱۴ در یک گروه قرار گرفتند که دارای Yp و Ys بالا و مقادیر بالایی از شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI بودند و از نظر شاخص Pi دارای مقادیر پایینی بودند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها متحمل به خشکی بودند. سایر ژنوتیپ‌ها از نظر معیارهای یادشده در حد متوسطی قرار داشتند. بنابراین این ژنوتیپ‌ها نیمه‌حساس به خشکی بودند. لذا با توجه به فاصله ژنتیکی لاین‌های حساس و متحمل می‌توان برای مطالعات ژنتیکی مربوط به این معیارها از دو رگ‌گیری بین این لاین‌ها استفاده نمود. این روش برای گروه‌بندی لاین‌های متحمل به خشکی در گندم نان برمبنای MP، TOL و STI توسط فرشادفر (Farshadfar, 2000) و برمبنای MP، GMP، HMPو STI در لاین‌های کنجد توسط گلستانی و پاک‌نیت (Golestani and Pakneiat, 2007) موردبررسی قرار گرفته است. به‌طورکلی، بر طبق شرایط این آزمایش مهم‌ترین لاین‌های متحمل به خشکی آخر فصل، ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۱۱ و ۱۴ و مناسب‌ترین شاخص‌های کمی تحمل به خشکی MP، GMP، HMP ، STI و Pi تشخیص داده شدند و مهم‌ترین صفت تأثیرگذار بر روی شاخص‌های مذکور صفت شاخص برداشت بود. هم‌چنین بهترین لاین‌ها برای دو رگ‌گیری که دارای بیش‌ترین فاصله ژنتیکی با یکدیگر بودند، لاین‌های متحمل شماره ۲، ۱۱، ۱۴ و لاین‌های حساس ۳، ۸، ۹، ۱۳ تعیین شدند.



شکل ۱. نمایش گرافیکی دوطرفه ۱۶ ژنوتیپ گندم در شاخص‌های تحمل به خشکی بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی.

Fig. 1.Biplot analysis demonstration of drought tolerance indices of sixteen wheat genotypes based on first and second principle component



شکل۲. دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های موردبررسی بر اساس شاخص‌های ارزیابی و عملکرد در هر دو شرایط محیطی

Fig. 2. Cluster analysis dendogram of grain yield of wheat genotypes based on drought tolerance indices in two environmental conditions

منابع

Ahmadi, J., 1999. Study of Resistance to drought in late maturity grain corn (*Zea mays*). MSc. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. [In Persian].

Bansal, K.C., Sinha, S.K., 1991. Assessment of drought resistance in 20 accessions of *Triticumaestivum* and related species. I. Total dry matter and grain yield stability. Euphytica, 56, 7-14.

Blum, A., 1988. Plant Breeding for Stress Environment. CRC. Press, Boca Raton, Florida, USA.

Calhoum, D.S., Gebeyehu, C., Miranda, A., Rajaram, S., Van Ginkel, M., 1994. Choosing evaluation environments to increase grain yield under drought conditions. Crop Science, 34, 673-673.

Collaku, A., Harrison, S.A., 2002. Losses in wheat due to water logging. Crop Science, 42, 444-450.

EsmailzadehMoghaddam, M., 2004.Genetic analysis for drought tolerance and related traits in some of bread wheat (*Triticum aestivum*) cultivars.PhD. Thesis, College of Agriculture, University of Industrial Isfahan, Iran [In Persian].

Farshadfar, E., 2000. Selection for tolerance to drought stress in bread wheat (*Triticum aestivum*) lines. Agriculture Science and Technoloy Journal. 14(2), 161-171 [In Persian with English Summary].

Farshadfar, E., Zamani, M., Motallebi, M., and Imamjomeh, A., 2001.Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal of Agriculture Science. 32(1), 65-77 [In Persian with English Summary].

Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Taiwan, 13-16 August.

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

Golestani, M., Pakneiat, H., 2007.Evaluation drought tolerance indices in sesame lines.Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 41, 141-149. [In Persian with English Summary].

Lin, C. S., Binns. M. R., 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar * location

data .Canadian Journal of Plant Science. 68, 193-198.

NourmandMoaiyed, F., Rostami, M. A., Ghannadha, M. R., 2001.A study of morpho-physiological traits of bread whaet (*Triticum aestivum*), relationship with grain yield under normal and drought stress conditions. Iranian Journal of Agriculture Science. 32(4), 785-794 [In Persian with English Summary].

Rizza, F., Badeck, F. W., Cattivelli, L., Lidestri, O., Di-Fonzo, N., Stanca, A.M., 2004. Use of a water stress index to identify barely genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. Crop Science. 44, 2127-2137.

Rosielle, A.T., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environments Crop Science. 21, 943-945.

Ruziev, B. R. 1973. The response of wheat varieties to irrigation in Kaska-Darya Province. Bulletin V-Sesoyuzonge ordena Lenina Instituta RastenievdstvaImeni. N. I.Vavilovia 33,16-23.

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 and Plant. 20, 57-71. [In Persian with English Summary].

Slafer, G.A., 1994. Genetic improvement of field crops. Marcel Dekker Publication. New York, 470p.