doi: 10.22124/c.2018.10434.1398

دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هشتم/ شماره دوم/ تابستان ۱۳۹۷ (۲۲۵-۲۰۹)

ارزیابی تحمل به خشکی در ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم نان تحت شرایط اقلیم گرم و خشک جنوب

سیروس طهماسبی[۱]، منوچهر دستفال[۲]، حسن زالی[۳]* و مجید رجایی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۸

چکیده

به‌منظور بررسی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گندم نان، نوزده رقم تجاری به‌همراه نه لاین امیدبخش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب (فارس) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار و به مدت دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) تحت شرایط بدون تنش (آبیاری معمول) و تنش خشکی (قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. سیزده شاخص تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل (TOL)، متوسط تولید (MP)، میانگین هندسی عملکرد (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل غیرزیستی (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، شاخص تولید غیرتنش- تنش (SNPI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، درصد کاهش عملکرد (R%) و شاخص عملکرد (YI) بر مبنای عملکرد تحت شرایط بدون‌تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) ارزیابی شدند. همچنین شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) بر مبنای تمام شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شد. نتایج گروه‌بندی این شاخص‌ها بر مبنای تجزیه به مولفه‌های اصلی، آن‌ها را در سه گروه قرار داد و شاخص‌های گروه دو یعنی HM، GMP و STI بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش (Ys) و بدون‌تنش (Yp) نشان دادند. بر اساس شاخص SIIG، ژنوتیپ‌های S-92-13 و بهاران با بیش‌ترین مقدار SIIG (به‌ترتیب ۰/۷۰۹ و ۰/۷۰۱) متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی و ژنوتیپ نارین با کم‌ترین مقدار SIIG (۰/۳۲۴) حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند. نمودار سه بعدی حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های G5 (سیروان)، G22 (S-91-15) و G27 (M-92-20) با عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط بدون‌تنش و تنش خشکی و نیز مقدار SIIG بالا جزء متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از شاخص SIIG به‌عنوان یک روش مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با کمک شاخص‌های دیگر تحمل به خشکی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، تجزیه به مولفه‌های اصلی، نمودار سه بعدی

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران

۲- مربی پژوهش، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران

۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات آب و خاک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران

* نویسنده مسئول: hzali90@yahoo.com

مقدمه

گندم نان یکی از منابع مهم تأمین پروتئین و کالری است که به‌عنوان یکی از غلات مهم، تأثیر زیادی بر اقتصاد و امنیت غذایی جهان دارد (Mondal *et al.*, 2016). این گیاه اصلی‌ترین محصول زراعی است که به‌دلیل تنوع ژنتیکی بالا و سازگاری با محیط‌های مختلف، از تنوع بالایی برخوردار است (Jasemi *et al.*, 2017). پیش‌بینی شده است که برای تأمین نیاز جهانی، تولیدگندم تا سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۱۰ باید حدود ۶۰ درصد افزایش داشته باشد. سهم بالایی از این افزایش بایستی از طریق افزایش عملکرد دانه در واحد سطح حاصل شود. برای رسیدن به این هدف تا سال ۲۰۵۰ عملکرد دانه باید در سطح جهانی سالانه حدود ۱/۶ درصد افزایش یابد (Lucas, 2013).

در میان تنش‌های غیرزنده، خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل تنش است که تولید و کیفیت گندم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی کمبود معیارهای انتخاب مؤثر، انتخاب و توسعه ژنوتیپ‌های متحمل را با مشکل مواجه می‌کند (Siosemardeh *et al.*, 2006). کاهش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی در بسیاری از تحقیقات گزارش شده است (Zivcak *et al.*, 2013; Moradi *et al.*, 2015). محققین معیارهای مختلفی را برای بررسی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی کرده‌اند. فرناندز (Fernandez, 1992) در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو شرایط تنش و بدون‌تنش، ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه A (عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش)، B (عملکرد بالا در شرایط بدون تنش)، C (عملکرد بالا در شرایط تنش) و D (عملکرد پایین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش) تقسیم نمود. حال سؤالی که مطرح می‌شود این است که انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در چه شرایطی باید صورت گیرد. عده‌ای از محققان معتقدند که انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش باید فقط در شرایط مناسب و بدون تنش صورت گیرد (Rajaram and Van Ginkle, 2001; Betran *et al.*, 2003)، ولی عده‌ای دیگر از محققین بیان می‌کنند که انتخاب باید در شرایط تنش صورت گیرد (Ceccarelli and Grando, 1991; Rathjen, 1994) و در نهایت تعداد دیگری از پژوهش‌گران انتخاب در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را مؤثرترین راه انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل می‌دانند (Fernandez, 1992; Siosemardeh *et al.*, 2006).

به نظر ریچارد (Richards, 1978) انتخاب برای عملکرد در غیاب خشکی راه بسیار مؤثری برای اصلاح و پیشبرد عملکرد در نواحی خشک است. دلیل آن این است که پتانسیل عملکرد در محیط‌های مطلوب به‌صورت مشخصی مؤثرتر از نواحی نامطلوب است، زیرا تنوع ژنتیکی به‌دلیل کوچک شدن خطاها، حداکثر بوده و برهمکنش ژنوتیپ و محیط نیز به‌دلیل تکرارپذیری بیش‌تر محیط‌ها کوچک‌تر است. علاوه بر این، ریچارد (Richards, 1978) عقیده دارد که انتخاب برای عملکرد به‌صورت طبیعی تمامی فاکتورهای ناشناخته‌ای که برای افزایش مقاومت به خشکی مهم هستند را در گیاه جمع می‌کند. از طرفی بلام (Blum, 1988) عقیده دارد که ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالا دارند، ممکن است متحمل به تنش خشکی نباشند و بالا بودن عملکرد آن‌ها ممکن است فقط به‌دلیل پتانسیل بالای عملکرد آن‌ها باشد نه دارا بودن مکانیسم‌های تحمل.

شاخص‌های زیادی برای بررسی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بر مبنای روابط ریاضی بین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون‌تنش معرفی شده است (Rosielle and Hamblin, 1981; Fischer and Maurer, 1978; Fernandez, 1992; Moosavi *et al.*, 2008). روزیله و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص تحمل (TOL=Tolerance Index) و شاخص متوسط تولید یا بهره‌وری (MP=Mean Productivity) را معرفی کردند. شاخص STI (Stress Tolerance Index) توسط فرناندز (Fernandez, 1992) به‌منظور بررسی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش و دارای پتانسیل تحمل به خشکی معرفی شد. با توجه به این که شاخص STI، شدت تنش (تفاضل نسبت متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش به متوسط عملکرد در شرایط بدون تنش از مقدار یک) و مقادیر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش را در نظر می‌گیرد. فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص حساسیت به تنش (SSI=Stress Susceptibility Index) را بر مبنای عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش مطرح کردند. آن‌ها معتقدند که عملکرد بالا در شرایط تنش، یا ناشی از مکانیسم فرار از خشکی یا منتج از سازگاری رقم به‌علت فرآیندهای خاص در شرایط تنش است. فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص خشکی (DI=Drought Index) که نسبت عملکرد دانه لاین‌های تحت تنش به شرایط بدون تنش است را به‌عنوان معیاری برای غربال ژنوتیپ‌های ذرت

معرفی کردند. آن‌ها سپس شاخص خشکی نسبی (RDI=Relative Drought Stress) را معرفی کردند. در این شاخص، ژنوتیپ‌هایی که دارای RDI بزرگ‌تر از یک هستند، دارای مقاومت نسبی به خشکی و ژنوتیپ‌هایی که مقدار کم‌تر از یک هستند، ژنوتیپ‌هایی با حساسیت نسبی به خشکی معرفی می‌شوند.

موسوی و همکاران (Moosavi *et al.*, 2008)، سه شاخص دیگر تحت عنوان شاخص تحمل غیرزیستی (ATI=Abiotic Tolerance Index)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI= Stress Susceptibility Percentage Index) و شاخص تولید در شرایط بدون تنش و تنش (SNPI=Stress and Non-Stress Production Index) را جهت بررسی حساسیت یا تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم معرفی کردند. به نظر ایشان، شاخص‌های ATI و SNPI نسبت به شاخص‌های TOL و SSI بهتر می‌توانند ژنوتیپ‌های دارای تحمل نسبی را نسبت به ژنوتیپ‌های حساس تفکیک کنند. آن‌ها بیان کردند که شاخص SNPI همبستگی مثبتی با تغییرات عملکرد در شرایط آبیاری و بدون آبیاری و همبستگی منفی با شاخص‌های SSI و TOL دارد. این شاخص ژنوتیپ‌های برتر با عملکرد بالا و پایدار را در شرایط تنش و بدون تنش معرفی می‌کند. بنابراین، آن‌ها شاخص SNPI را به‌عنوان یک شاخص مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایدار معرفی کردند. استفاده از شاخص‌های SNPI، ATI و SSPI به‌منظور بررسی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (Farshadfar and Elyasi, 2012; Mohammadnia *et al.*, 2016; Zali *et al.*, 2016).

عسکر و همکاران (Askar *et al.*, 2011) به‌منظور ارزیابی تحمل ۱۸ ژنوتیپ گندم نان به تنش خشکی پس از مرحله گل‌دهی، از شاخص‌های STI، TOL، MP و GMP استفاده و لاین‌های C-83-6، C-83-7 و C-83-8 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و لاین C-84-14 را به‌عنوان ژنوتیپ حساس نسبت به تنش خشکی معرفی کردند. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2011) نیز از شاخص‌های TOL، SSI، GMP، MP و STI جهت بررسی تحمل به خشکی ارقام گندم نان استفاده و شاخص‌های MP، GMP و STI را از مؤثرترین شاخص‌ها در معرفی ژنوتیپ‌های متحمل معرفی کردند. نادری و همکاران (Naderi *et al.*, 2014) در بررسی ۱۶ ژنوتیپ گندم نان برای تحمل به خشکی انتهای فصل در مناطق گرم جنوب، بیان کردند شاخص تحمل به تنش تغییریافته (MSTI) و شاخص عملکرد (YI)، ژنوتیپ‌های مورد بررسی را به‌نحو کاراتری تفکیک می‌کنند. بر اساس نتایج محسنی و همکاران (Mohseni *et al.*, 2015) شاخص‌های MP، GMP، HM، YI، DI، MSTI (Modified Stress Tolerance Index) و SNPI برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل و پایداری عملکرد بالا در شرایط تنش رطوبتی، مناسب‌ترین شاخص‌ها هستند. آن‌ها با استفاده از این شاخص‌ها ۳۹ ژنوتیپ گندم را از نظر تحمل به خشکی ارزیابی و بیان کردند که ژنوتیپ‌های مغان ۱، سیستان، اکبری، بیات، دز، بک‌کراس روشن بهاره، مهدوی و طبس به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های تجن، نوید، شیرودی، زاگرس، کرخه و ویری‌ناک به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش انتهای فصل بودند. در مقابل، محمدنیا و همکاران (Mohammadnia *et al.*, 2016) بیان کردند که شاخص‌های TOL، YSI، SSI، RDI، ATI، SSPI و SNPI در تمایز لاین‌های گندم دوروم نقش زیادی نداشتند و در نهایت از شاخص STI برای تمایز ژنوتیپ‌ها استفاده کردند. نتایج مشابهی توسط طالبی و همکاران (Talebi *et al.*, 2009) و شاه‌مرادی و زهراوی (Shahmoradi and Zahravi, 2016) در گندم نان گزارش شد.

برای انتخاب ارقام متحمل یا حساس به تنش استفاده از یک شاخص به تنهایی ممکن است منجر به نتایج مطلوبی نباشد، ولی با ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های مختلف، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های ایده‌آل افزایش می‌یابد. بنابراین، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG=Selection Index of Ideal Genotypes) جهت ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی، به‌منظور ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌ها استفاده شد. این شاخص برای اولین بار برای ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی و روش‌های مختلف تجزیه پایداری (Zali *et al.*, 2015, 2016) برای افزایش کارایی انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل استفاده شد. از معیار SIIG می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ و تعیین فواصل بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده کرد. از ویژگی‌های شاخص SIIG این است که برای محاسبه آن می‌توان از تمام شاخص‌های تحمل به خشکی استفاده کرد و هیچ محدودیتی وجود ندارد. از آن‌جایی‌که ممکن است هر ژنوتیپی از نظر یک شاخص یا صفتی ژنوتیپ

برتر باشد و در نهایت با افزایش تعداد صفات یا شاخص‌ها، ممکن است انتخاب ژنوتیپ مناسب برای محقق دشوار شود، ولی به کمک شاخص SIIG تمام شاخص‌ها و صفات به یک شاخص تبدیل می‌شوند و رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر بسیار راحت‌تر می‌شود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به‌کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوت و طبیعت منفی و مثبت باشند. به‌عبارت دیگر، می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این روش استفاده کرد (Zali *et al.*, 2015, 2016).

هدف از این تحقیق، بررسی تحمل به خشکی تعدادی از ارقام تجاری و لاین‌های امیدبخش گندم نان در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی انتهای فصل با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی بود. هم‌چنین در این مطالعه از روش SIIG برای ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی به‌منظور انتخاب مؤثر ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

نوزده رقم تجاری به همراه نه لاین امیدبخش گندم نان که از آزمایشات مقایسه عملکرد لاین‌های پیشرفته گندم کشور انتخاب شده بودند (جدول ۱)، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار و به‌مدت دو سال (۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵) در شرایط آبیاری معمول و تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارتفاع منطقه مورد آزمایش از سطح دریا ۱۱۰۷ متر با اقلیم گرم و خشک و متوسط بارندگی ۲۴۸ میلی‌متر و زمستان‌های معتدل می‌باشد. مشخصات جغرافیایی آن به‌ترتیب ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۵۰ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی است. هم‌چنین سایر اطلاعات هواشناسی مربوط به دو سال زراعی در جدول ۲ ارایه شده است. ارقام و لاین‌های مورد بررسی در اواخر آذر در شش خط به‌طول شش متر (۷/۲ مترمربع) به‌فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم کشت و به‌صورت نشتی آبیاری شدند. میزان بذر مصرفی ۴۵۰ دانه در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر لاین تعیین شد. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و نازک‌برگ به‌صورت مکانیکی و نیز با استفاده از علف‌کش در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن انجام شد. در طول دوره رشد، علاوه بر مراقبت‌های زراعی، یادداشت‌برداری از کرت‌های آزمایشی برای صفاتی مانند روز تا ۵۰ درصد رسیدگی و ارتفاع بوته انجام شد. هم‌چنین قبل از برداشت نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف و بقیه (۶ مترمربع) برداشت شد.

برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی از میانگین عملکرد دو ساله ژنوتیپ‌ها و نیز از شاخص‌های ذیل استفاده شد:

شاخص تحمل (TOL) و شاخص میانگین تولید (MP) (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_P - Y_S \quad (۱)$$

$$MP = \frac{Y_P + Y_S}{2} \quad (۲)$$

شاخص حساسیت به خشکی (SSI) (Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI = \frac{1-\frac{Y_S}{Y_P}}{SI} \quad , \quad SI = 1-\frac{\overline{Y}_S}{\overline{Y}_P} \quad (۳)$$

میانگین هندسی عملکرد در دو شرایط بدون تنش و تنش (GMP)، میانگین هارمونیک عملکرد (HM) و شاخص تحمل به تنش (STI) (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S} \quad (۴)$$

$$HM = \frac{2Y_P Y_S}{Y_P + Y_S} \quad (۵)$$

$$STI = \frac{(\overline{Y}_P)^2}{Y_P Y_S} \quad (۶)$$

شاخص خشکی نسبی (Fischer and Wood, 1979):

$$RDI = \frac{Y_S / Y_P}{\overline{Y}_S / \overline{Y}_P} \quad (۷)$$

شاخص تحمل غیرزیستی (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) و شاخص تولید در شرایط بدون‌تنش و تنش (SNPI) (Moosavi *et al.*, 2008):

$$ATI = \frac{Y_P - Y_S}{\overline{Y}_P / \overline{Y}_S} \times \sqrt{Y_P \times Y_S} \quad (۸)$$

$$SSPI = \frac{Y_P - Y_S}{2\overline{Y}_P} \times 100 \quad (۹)$$

$$SNPI = \sqrt[3]{\frac{(Y_P + Y_S)}{(Y_P - Y_S)}} \times \sqrt[3]{Y_P \times Y_S \times Y_S} \quad (۱۰)$$

شاخص پایداری عملکرد (Bouslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_S}{Y_P} \quad (۱۱)$$

درصد کاهش عملکرد (Choukan *et al.*, 2006):

$$R\% = \frac{Y_P - Y_S}{Y_P} \times 100 \quad (۱۲)$$

شاخص عملکرد (YI) (Gavuzzi *et al.*, 1997):

$$YI = \frac{Y_S}{\overline{Y_S}} \quad (۱۳)$$

در این روابط، Y_S و Y_P به‌ترتیب عملکرد یک ژنوتیپ تحت شرایط تنش و بدون تنش و $\overline{Y_S}$ و $\overline{Y_P}$ به‌ترتیب میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش است.

به‌منظور ادغام شاخص‌های مختلف از روش SIIG استفاده شد که نحوه محاسبه این شاخص به شرح زیر است:

۱- تشکیل ماتریس داده‌ها: با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و تعداد شاخص‌ها یا صفات مختلف مورد بررسی، ماتریس داده‌ها به‌صورت زیر تشکیل شد:

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \vdots & & & \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad (۱۴)$$

که در آن، x_{ij} مقدار شاخص (صفت) iام ($i=1, 2, \dots, n$) در ژنوتیپ jام ($j=1, 2, \dots, m$) است.

۲- تبدیل ماتریس داده‌ها به یک ماتریس نرمال: از رابطه (۱۵) برای نرمال کردن داده‌ها استفاده شد:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} X_{ij}^2}} \quad (۱۵)$$

بنابراین، ماتریس R به‌صورت زیر تعریف شد:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & & & \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (۱۶)$$

۳- پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و غیر ایده‌آل (ضعیف): در این مرحله، برای هر شاخص یا صفت به‌طور جداگانه، بهترین و ضعیف‌ترین انتخاب شد.

۴- محاسبه فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (d_i^+) و ضعیف (d_i^-) برای هر شاخص: برای این منظور به‌ترتیب از روابط (۱۷) و (۱۸) استفاده شد:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (r_{ij} - r_i^+)^2} \quad (۱۷)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (r_{ij} - r_i^-)^2} \quad (۱۸)$$

در این روابط، r_{ij} مقدار نرمال‌شده شاخص (صفت) iام ($i=1, 2, \dots, n$) در رابطه با ژنوتیپ jام ($j=1, 2, \dots, m$) و r_i^+ و r_i^- به‌ترتیب مقدار نرمال‌شده ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ضعیف برای هر شاخص (صفت) iام ($i=1, 2, \dots, n$) است.

۵- محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG): در آخرین مرحله، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از رابطه (۱۹) محاسبه شد:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (۱۹)$$

$$i = 1, 2, \dots, m \ , \ 0 \le SIIG \le 1$$

مقدار SIIG بین صفر تا یک تغییر می‌کند که مقدار یک نشان‌دهنده ژنوتیپ ایده‌آل و صفر نشان‌دهنده ژنوتیپ ضعیف است. بر اساس این روش، بهترین ژنوتیپ‌ها، نزدیک‌ترین آن‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل و دورترین آن‌ها از ژنوتیپ ضعیف هستند. منظور از ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپ فرضی است که بیش‌ترین تحمل و ژنوتیپ ضعیف، ژنوتیپ فرضی است که کم‌ترین تحمل به خشکی را داشته باشد (Zali *et al.*, 2015, 2016). در حقیقت، ژنوتیپ ایده‌آل از مجموع مقادیر ایده‌آل همه شاخص‌های تحمل به خشکی به‌دست می‌آید، در حالی‌که ژنوتیپ ضعیف از مجموع مقادیر ضعیف تمامی شاخص‌ها حاصل می‌شود. برای مثال، در مورد عملکرد، بیش‌ترین عملکرد یک ژنوتیپ، مقدار ایده‌آل و کم‌ترین عملکرد یک ژنوتیپ به‌عنوان مقدار ضعیف در نظر گرفته می‌شود، اما در مورد شاخص SSI، مقدار ایده‌آل برابر با کم‌ترین مقدار SSI و مقدار ضعیف برابر با بیش‌ترین مقدار SSI برای ژنوتیپ‌ها است.

در این تحقیق، برای انجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزار SAS، برای محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) از نرم‌افزار Excel و برای تجزیه به مولفه‌های اصلی و رسم نمودارهای دوطرفه و سه‌طرفه از نرم‌افزار Statistica استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های گندم نان مورد مطالعه در این تحقیق

Table 1. Name and characteristics of the studied bread wheat genotypes in this research

Genotype	Origin or pedigree	Genotype	Origin or pedigree
Chamran	Iran	Rezhav	Iran
Shiroudi	Iran	Azar2	Iran
Chamran2	Iran	Felamingo	Iran
Aflak	Iran	UG520	Iran
Sirvan	Iran	Line 181	Iran
Baharan	Iran	Khalil	Iran
Shoush	Iran	S-91-13	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR
Mehregan	Iran	S-91-15	PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/3/HE1/3*CNO79//2*SERI
Narin	Iran	S-92-11	SW89.5277/BORL95//SKAUZ/3/PRL/2*PASTOR/4/HEILO
Karim	Iran	S-92-13	WHEAR//2*PRL/2*PASTOR
Dehdasht	Iran	S-92-17	Dez/SW891882
Ghabous	Iran	S-92-19	Dez/SW891882
Kohdasht	Iran	M-92-20	CHEN/AEGILOPS QUARROSA(TAUS)//BCN/3/BAV92/4/ BERKUT
Sistan	Iran	WS-90-18	CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/3/PASTOR

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی منطقه اجرای آزمایش طی دو فصل زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵

Table 2. Monthly meteorological data in two cropping seasons of 2015-16 and 2016-17

Month	2015-16					2016-17				
	Temperature (℃)			Rainfall (mm)	Relative humidity (%)	Temperature (℃)			Rainfall (mm)	Relative humidity (%)
	Min	Max	Mean			Min	Max	Mean		
October	17.4	34.3	25.8	0	29	16.7	33.7	25.2	0	31
November	11.9	25.4	18.7	71.3	53	10.1	28.4	19.2	0	36
December	5.0	20.1	12.6	2.2	47	7.2	20.3	13.8	27.5	57
January	4.3	17.1	10.7	86.4	65	5.1	21.3	13.2	7.4	44
February	3.5	18.4	11.0	0	47	6.0	14.7	10.3	422.9	67
March	8.8	24.3	16.6	0	44	7.7	19.9	13.8	93.5	59
April	10.6	25.0	17.8	47.8	48	13.1	26.3	19.7	55.2	54
May	17.9	34.5	26.2	0	31	18.3	34.2	26.3	1.2	33
June	20.8	39.0	29.9	0	19	21.5	40.7	31.1	0	21

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات عملکرد دانه، تعداد روز تا ۵۰ درصد رسیدگی، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه طی دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۴ تحت شرایط تنش خشکی و بدون‌تنش در جدول ۳ ارایه شده است. اثر سال و ژنوتیپ برای عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ در هر دو شرایط حاکی از اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها و نشان‌دهنده متفاوت بودن توان ژنتیکی آن‌ها در تولید عملکرد دانه است. معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × سال در هر دو شرایط نیز حاکی از واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در دو سال اجرای آزمایش بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب وزن هزار دانه و ارتفاع بوته نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون‌تنش تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما در شرایط تنش تفاوت بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برای تعداد روز تا رسیدگی نیز تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد در هر دو شرایط مشاهده شد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در دو شرایط تنش و بدون‌تنش) نیز در جدول ۴ ارایه شده است. نتایج نشان داد که اثر سال، محیط و ژنوتیپ برای عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر سال احتمالاً به‌علت وقوع بارندگی‌های بیش‌تر از میانگین سالیانه داراب در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ (جدول ۲) بود.

مقادیر شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی همراه با عملکرد تحت شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش (Ys) در جدول ۵ ارایه شده است. نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل (Yp) به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های سیروان (۵۸۱۴)، قابوس (۵۶۴۴)، چمران (۵۶۱۰)، خلیل (۵۶۰۹)، S-91-13

(۵۵۵۵)، Line181 (۵۵۱۸) و M-92-19 (۵۵۱۸) و کم‌ترین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های آذر۲ (۳۶۰۲)، کریم (۴۱۶۲)، Ug520 (۴۲۲۷)، فلامینگو (۴۶۹۵) و مهرگان (۴۷۱۴) مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی (Ys) نیز بیش‌ترین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های M-92-20 (۴۷۸۱)، S-92-13 (۴۷۳۰)، سیروان (۴۶۹۸) و بهاران (۴۵۵۷) و کم‌ترین عملکرد (کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های آذر (۲۷۱۶)، فلامینگو (۳۲۸۴)، UG520 (۳۳۱۰)، کریم (۳۶۳۳) و نارین (۳۶۵۷) بود (جدول ۵).

بر مبنای شاخص‌های TOL، ATI و SSP1 کم‌ترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های قابوس، نارین، S-92-11، شوش و Rezhav و بیش‌ترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های S-92-13، بهاران، افلاک، دهدشت و کریم بود (جدول ۵). ژنوتیپ‌های دارای حساسیت کم‌تر به تنش، مقدار کم‌تری برای این شاخص‌ها دارند و ژنوتیپ‌های برتر کاهش عملکرد کم‌تری در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون‌تنش دارند. از نظر موسوی و همکاران (Moosavi *et al.*, 2008)، شاخص‌های ATI و SSPI ژنوتیپ‌های دارای تحمل نسبی به شرایط تنش را تفکیک می‌کنند و بنابراین ابزاری قوی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش هستند.

برای شاخص‌های GMP، STI و HM، ژنوتیپ‌های سیروان، M-92-20، خلیل، چمران و S-92-13 بالاترین مقدار و ژنوتیپ‌های آذر ۲، UG520، کریم، فلامینگو و چمران ۲ کم‌ترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۵). بر اساس این شاخص‌ها، ژنوتیپی که بیش‌ترین مقدار را داشته باشد، مطلوب و جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است. از نظر فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص STI قادر به گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش است و شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) کم‌تر تحت تأثیر ارزش نهایی صفات است و ژنوتیپ‌های گروه A را از بقیه جدا می‌کند (Yousofi and Rezaei, 2008). شاخص تحمل به خشکی (STI) قادر است ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) را از دو گروه B (فقط در شرایط بدون‌تنش) و C (فقط در شرایط تنش) عملکرد نسبتاً بالایی دارند، تفکیک کند. فرناندز (Fernandez, 1992)، شاخص‌های STI و GMP را به‌علت همبستگی با عملکرد در شرایط تنش و بدون‌تنش، مناسب‌ترین شاخص‌ها به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مناسب توصیه کرد. نعیمی و همکاران (Naeemi *et al.*, 2008) نیز شاخص‌های GMP و STI را جزء بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل به تنش آخر فصل در بین ارقام کلزا معرفی کردند.

بر مبنای شاخص‌های SSI و درصد کاهش عملکرد (R%)، ژنوتیپ‌های کامبوس، نارین، S-92-11 و شوش کم‌ترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند و این در حالی بود که همین ژنوتیپ‌ها بیش‌ترین مقدار شاخص‌های YSI و RDI را نشان دادند. از طرفی ژنوتیپ‌های S-92-13، بهاران، افلاک، دهدشت و S-92-17 بیش‌ترین مقدار SSI و درصد کاهش عملکرد (R%) و کم‌ترین مقدار شاخص‌های YSI و RDI را داشتند. این مطلب همبستگی بالا ولی منفی این شاخص‌ها را نشان می‌دهد. بر مبنای پارامترهای YSI و RDI، ژنوتیپ‌هایی که بیش‌ترین مقدار را دارند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی می‌شوند و بر عکس ژنوتیپ‌هایی که کم‌ترین مقدار SSI و R% را داشته باشند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی می‌شوند. در شاخص YSI مقادیر بیش‌تر از واحد نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ و پایداری کم عملکرد تحت شرایط تنش است. شاخص YSI و درصد کاهش عملکرد، ارقام را در جهت عکس یک‌دیگر گزینش می‌کنند. به‌عبارت دیگر، رقمی که توسط شاخص YSI به‌عنوان رقمی با پایداری بالای عملکرد در شرایط تنش معرفی می‌شود، از پایین‌ترین میزان تغییر و یا کاهش عملکرد برخوردار است. در واقع شاخص YSI نشان‌دهنده میزان مقاومت ژنتیکی رقم به تنش خشکی است و در نتیجه ژنوتیپی با میزان YSI بالا، باید عملکرد بالایی تحت هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش داشته باشد (Zali *et al.*, 2016). از نظر سی و سه مرده و همکاران (Siosemardeh *et al.*, 2006)، با توجه به این‌که شاخص عملکرد از نسبت عملکرد رقم در شرایط تنش به میانگین عملکرد کلیه ارقام در شرایط تنش محاسبه می‌شود، بنابراین موجب رتبه‌بندی ارقام بر حسب میزان عملکرد تولیدی آن‌ها در محیط تنش خواهد شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط بدون‌تنش و تنش خشکی

Table 3. Combined analysis of variance for grain yield, number of days to maturity, plant height and 1000-kernal weight of the bread wheat genotypes under non-stress and drought stress conditions

Source of variations	df	Mean squares							
		Number of days to maturity		Plant height		1000-kernel weight		Grain yield	
		Yp	Ys	Yp	Ys	Yp	Ys	Yp	Ys
Year (Y)	1	11200**	11120**	386**	1443^{ns}	603**	2.52^{ns}	168226836*	102423938*
Replication / Y	2	14.88	39.36	10.04	126.67	1.69	53.86	3532902	1307055
Genotype (G)	27	17.75**	23.27**	90.36^{ns}	93.72**	22.90^{ns}	26.61**	1023710**	866540*
G×Y	27	15.65*	19.94**	128.58*	182.36**	20.59^{ns}	52.95**	1307196**	639493**
Error	54	8.26	6.068	53.76	37.57	16.84	12.22	365463	282891
CV (%)		2.08	1.82	7.26	6.19	9.54	9.44	11.90	13.36

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های گندم نان

Table 4. Combined variance analysis of grain yield, number of days to maturity, plant height and 1000-kernal weight in bread wheat genotypes

Source of variations	df	Mean squares			
		Number of days to maturity	Plant height	1000-kernel weight	Grain yield
Year (Y)	1	22320**	1661**	264**	266590215**
Environment (E)	1	686**	350**	2233**	67367869**
Y × E	1	0.071^{ns}	1680^{ns}	342**	4060559**
Replication / (Y × E)	4	27.3	68.35	27.77	24199790**
Genotype (G)	27	33.21**	128.89**	40.85**	1433806**
G × Y	27	29.14**	230.97**	53.61**	1312464**
G × E	27	7.81**	55.19^{ns}	8.66^{ns}	456444**
G × Y × E	27	6.45^{ns}	79.97*	19.93^{ns}	634225**
Error	108	7.166	45.663	14.531	324176.99
CV (%)	-	1.96	6.76	9.61	12.57

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی

Table 5. Average grain yield and different drought tolerance indices in the studied wheat genotypes under complete irrigation and drought stress conditions

Genotype	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	STI	HM	%R	YI	YSI	RDI	ATI	SSPI	SNPI
Chamran	5610	4159	1451	725	4830	0.904	4777	1.198	0.946	0.741	25.9	1.044	5492800	14.3	8678
Shiroudi	5000	4005	995	497	4475	0.776	4448	0.922	1.022	0.801	19.9	1.006	3490217	9.8	8988
Chamran2	4982	3698	1284	642	4292	0.714	4245	1.194	0.947	0.742	25.8	0.929	4320097	12.6	7723
Aflak	4881	4440	441	220	4655	0.840	4650	0.418	1.160	0.910	9.0	1.115	1608318	4.3	12673
Sirvan	5814	4698	1116	558	5226	1.059	5197	0.889	1.031	0.808	19.2	1.180	4571864	11.0	10653
Baharan	4768	4557	211	106	4662	0.842	4660	0.205	1.219	0.956	4.4	1.144	771726.5	2.1	16353
Shoush	5443	3807	1636	818	4552	0.803	4480	1.392	0.892	0.699	30.1	0.956	5838103	16.1	7641
Mehregan	4714	4029	685	342	4358	0.736	4344	0.673	1.090	0.855	14.5	1.012	2339265	6.7	9922
Narin	5365	3657	1708	854	4429	0.760	4349	1.475	0.869	0.682	31.8	0.918	5931892	16.8	7235
Karim	4162	3633	529	265	3888	0.586	3879	0.589	1.113	0.873	12.7	0.912	1612637	5.2	9319
Dehdasht	4763	4279	485	242	4514	0.790	4508	0.471	1.146	0.898	10.2	1.074	1715488	4.8	11760
Ghabous	5644	3794	1849	925	4627	0.830	4538	1.518	0.858	0.672	32.8	0.953	6709054	18.2	7457
Kohdasht	4958	3896	1062	531	4395	0.749	4363	0.992	1.002	0.786	21.4	0.978	3660137	10.5	8561
Sistan	5307	3810	1497	749	4497	0.784	4436	1.307	0.916	0.718	28.2	0.957	5277502	14.7	7770
Rezhav	5302	3719	1583	792	4440	0.764	4372	1.383	0.895	0.701	29.9	0.934	5512386	15.6	7476
Azar2	3602	2716	886	443	3128	0.379	3097	1.139	0.962	0.754	24.6	0.682	2171690	8.7	5745
Felamingo	4695	3284	1411	706	3927	0.598	3865	1.392	0.892	0.699	30.1	0.825	4344953	13.9	6590
UG520	4227	3310	917	458	3740	0.542	3713	1.004	0.999	0.783	21.7	0.831	2687549	9.0	7248
Line 181	5518	3956	1562	781	4672	0.846	4608	1.311	0.914	0.717	28.3	0.993	5723051	15.4	8060
Khalil	5609	4185	1424	712	4845	0.910	4794	1.176	0.952	0.746	25.4	1.051	5409263	14.0	8775
S-91-13	5555	4026	1529	764	4729	0.867	4668	1.275	0.924	0.725	27.5	1.011	5668150	15.1	8263
S-91-15	5279	4279	1000	500	4753	0.876	4726	0.877	1.034	0.811	18.9	1.075	3726045	9.8	9739
S-92-11	5370	3688	1682	841	4450	0.768	4373	1.451	0.876	0.687	31.3	0.926	5869052	16.6	7326
S-92-13	4930	4730	201	100	4829	0.904	4828	0.188	1.224	0.959	4.1	1.188	759040.6	2.0	17449
S-92-17	4964	4411	553	276	4679	0.849	4671	0.516	1.134	0.889	11.1	1.108	2027290	5.4	11790
S-92-19	4894	3818	1076	538	4322	0.724	4289	1.018	0.995	0.780	22.0	0.959	3645248	10.6	8328
M-92-20	5518	4781	737	369	5136	1.023	5123	0.619	1.105	0.866	13.4	1.201	2967934	7.3	12080
WS-90-18	5341	4138	1203	602	4701	0.857	4663	1.043	0.988	0.775	22.5	1.039	4434779	11.8	8965

The abbreviations are including: Yp, yield under non-stress condition; Ys, yield under drought stress condition; TOL, tolerance index; SSI, stress susceptibility index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; STI, stress tolerance index; HM, harmonic mean; R%, percentage of yield decrease; YI, yield index; YSI, yield stability index; RDI, relative drought index; ATI, abiotic-stress tolerance index; SSPI, stress susceptibility percentage index; SNPI, stress and non-stress production index.

بر مبنای شاخص‌های SSI و TOL ممکن است ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که دارای عملکرد پایین در شرایط بدون‌تنش و عملکرد بالا در شرایط تنش باشند (Fernandez, 1992). بنابراین ممکن است این شاخص‌ها در تمایز ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا کارایی کم‌تری داشته باشند. در ضمن با توجه به مقدار پایین این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌ها باید دارای عملکرد مناسب در شرایط تنش و بدون‌تنش باشند. شاخص SSI برای اصلاح تحت تنش‌هایی با شدت کم مناسب می‌باشد، در صورتی‌که شاخص‌های MP، GMP و STI برای تنش‌هایی با شدت بالا پیشنهاد می‌شوند (Siosemardeh *et al.*, 2006).

شاخص MP نشان داد که ژنوتیپ‌های قابوس، نارین، S-92-11، شوش و Rezhav به‌ترتیب دارای بیش‌ترین مقدار و ژنوتیپ‌های S-92-13، بهاران، افلاک، دهدشت و کریم به‌ترتیب کم‌ترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۵). امیری اوغان و همکاران (Amiri-Oghan *et al.*, 2004)، در بررسی وراثت‌پذیری شاخص‌های تحمل به خشکی در کلزا، بیان کردند که شاخص میانگین تولید (MP)، به علت داشتن تنوع ژنتیکی بالا، قابلیت توارث بالا و نیز همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی مناسب می‌باشد. هم‌چنین نعیمی و همکاران (Naeemi *et al.*, 2008)، شاخص MP را یکی از بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل به تنش آخر فصل در بین ارقام کلزا معرفی کردند. ولی فرناندز (Fernandez, 1992)، شاخص MP را جزء شاخص‌های با کارایی پایین معرفی و بیان کرد که این شاخص نمی‌تواند ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا را به‌طور هم‌زمان در شرایط تنش و بدون‌تنش تفکیک کند. کاربرد شاخص‌های MP، GMP، SSI، STI و TOL در انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی در گندم نان در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (Talebi *et al.*, 2009; Askar et *al.*, 2011; Mohammadi *et al.*, 2011; Shahmoradi and Zahravi, 2016).

بیش‌ترین مقدار شاخص YI، به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های M-92-20، S-92-13، سیروان، بهاران و افلاک و کم‌ترین مقدار این شاخص به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های آذر ۲، فلامینگو، UG520، کریم و نارین بود (جدول ۵). مطابق نظر گاوازی و همکاران (Gavuzzi *et al.*, 1997)، شاخص YI برای گزینش ارقام گروه A بازده ندارد.

بر مبنای شاخص تولید غیرتنش- تنش (SNPI) که مقاومت نسبی ژنوتیپ‌ها را نسبت به شرایط تنش نشان می‌دهد (Moosavi *et al.*, 2008)، ژنوتیپ‌های S-92-13، بهاران، افلاک، M-92-20 و S-92-17 به‌ترتیب بیش‌ترین مقدار را نشان دادند و ژنوتیپ‌های آذر۲، فلامینگو، نارین، UG520 و S-92-11 کم‌ترین مقدار شاخص SNPI را داشتند (جدول ۵). در این شاخص ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار SNPI بیش‌تر باشند، دارای مقاومت نسبی به خشکی بوده و ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار SNPI کم‌تر باشند، ژنوتیپ‌هایی با حساسیت نسبی به خشکی معرفی می‌شوند. استفاده از شاخص‌های SNPI، ATI و SSPI به‌منظور بررسی تحمل به خشکی ارقام در گندم نان (Farshadfar and Elyasi, 2012)، گندم دوروم (Mohammadnia *et al.*,2016) و کلزا (Zali *et al.*, 2016) نیز گزارش شده است.

به‌منظور بررسی کاراتر تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها با استفاده از تمام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی (جدول ۵) به‌طور هم‌زمان از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) استفاده شد (جدول ۶). شاخص SIIG، بر مبنای ۱۳ شاخص تحمل به خشکی جدول ۵، شامل TOL، SSI، MP، GMP، STI، HM، %R، YI، YSI، RDI، ATI، SSPI و SNPI محاسبه شد (جدول ۶). در واقع این روش، نتایج شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی را ادغام نموده و تبدیل به یک شاخص واحد می‌نماید و کارایی تصمیم گیری را افزایش می‌دهد (Zali *et al.*, 2015, 2016). از آن‌جایی که میزان تغییرات این شاخص بین صفر و یک می‌باشد هر چه مقدار SIIG برای ژنوتیپی به یک نزدیک‌تر باشد، آن ژنوتیپ از تحمل به خشکی بالاتری برخوردار است و هر چه مقدار SIIG برای ژنوتیپی به صفر نزدیکتر باشد، ژنوتیپ مورد بررسی نسبت به خشکی حساس‌تر است. در واقع به‌کمک شاخص SIIG، محقق تصمیم نهایی را در انتخاب بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی می‌گیرد.

بر اساس شاخص SIIG، ژنوتیپ‌های S-92-13 و بهاران با بیش‌ترین مقدار SIIG (به‌ترتیب ۰/۷۰۹ و ۰/۷۰۱) جزء متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند (جدول ۶). بعد از آن‌ها ژنوتیپ‌های افلاک، دهدشت، S-92-17، M-92-20 کریم، مهرگان، سیروان به‌ترتیب با مقدار SIIG، ۰/۶۶۷، ۰/۶۴۶، ۰/۶۴۲، ۰/۶۲۳، ۰/۵۸۴، ۰/۵۷۸، ۰/۵۰۷ و ۰/۵۰۷ جزء متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به خشکی در شرایط

این تحقیق بودند. از طرفی، ژنوتیپ نارین با کم‌ترین مقدار SIIG (۰/۳۲۴)، جزء حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به خشکی بود و ژنوتیپ‌های S-92-11، فلامینگو، قابوس، Rezhav، شوش، سیستان، Line181 و S-91-13 به‌ترتیب با مقدار کم SIIG (۰/۳۲۸، ۰/۳۳۱، ۰/۳۳۵، ۰/۳۳۷، ۰/۳۵۱، ۰/۳۵۵ و ۰/۳۶۴) در مرتبه بعدی از نظر حساسیت به خشکی قرار داشتند. سایر ژنوتیپ‌ها نیز در حدفاصل این دو دسته از ژنوتیپ‌ها قرار گرفتند (جدول ۶).

در میان ارقام متحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های S-92-13، بهاران، افلاک، دهدشت، S-92-17 و مهرگان در شرایط آبیاری کامل عملکرد پایین‌تر از متوسط کل داشتند، ولی در شرایط تنش عملکرد آن‌ها از متوسط کل بیش‌تر بود (جدول ۵) و به این دلیل به‌عنوان ارقام متحمل از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی معرفی شدند. رقم کریم در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی دارای عملکرد ضعیف بود، اما رقم سیروان و ژنوتیپ‌های M-92-20 و S-91-15 در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش دارای عملکرد بالاتر از متوسط کل بودند. بنابراین، این‌دو ژنوتیپ از بهترین ژنوتیپ‌ها هم از نظر عملکرد (در هر دو شرایط نرمال و تنش) و هم از نظر تحمل به خشکی بودند (جدول ۵). به این ترتیب، برای انتخاب ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی، باید علاوه بر شاخص‌های تحمل به خشکی، به عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش هم توجه کرد. از این‌رو، برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها از نمودار سه بعدی (شکل ۱) بر مبنای عملکرد در شرایط بدون‌تنش (Yp)، عملکرد در شرایط تنش (Ys) و شاخص SIIG (به‌عنوان نماینده شاخص‌های تحمل به خشکی) استفاده شد.

جدول ۶- شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) و فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (d^+) و غیرایده‌آل (d^-)

Table 6. Selection index of ideal genotype (SIIG) and distance from ideal (d^+) and non-ideal genotypes

Code	Genotype	d-	d+	SIIG	Rank
G1	Chamran	0.301	0.479	0.386	18
G2	Shiroudi	0.347	0.370	0.484	11
G3	Chamran2	0.281	0.458	0.380	19
G4	Aflak	0.530	0.265	0.667	3
G5	Sirvan	0.379	0.368	0.507	9
G6	Baharan	0.628	0.268	0.701	2
G7	Shoush	0.279	0.547	0.337	23
G8	Mehregan	0.429	0.313	0.578	8
G9	Narin	0.276	0.576	0.324	28
G10	Karim	0.461	0.329	0.584	7
G11	Dehdasht	0.506	0.277	0.646	4
G12	Ghabous	0.301	0.611	0.331	25
G13	Kohdasht	0.327	0.392	0.455	12
G14	Sistan	0.275	0.508	0.351	22
G15	Rezhav	0.271	0.537	0.335	24
G16	Azar2	0.331	0.464	0.416	16
G17	Felamingo	0.254	0.521	0.328	26
G18	UG520	0.334	0.409	0.449	13
G19	Line 181	0.285	0.519	0.355	21
G20	Khalil	0.304	0.470	0.393	17
G21	S-91-13	0.290	0.506	0.364	20
G22	S-91-15	0.364	0.355	0.507	10
G23	S-92-11	0.275	0.567	0.327	27
G24	S-92-13	0.644	0.265	0.709	1
G25	S-92-17	0.491	0.274	0.642	5
G26	S-92-19	0.319	0.400	0.444	14
G27	M-92-20	0.464	0.281	0.623	6
G28	WS-90-18	0.319	0.412	0.437	15

بر مبنای نمودار سه بعدی (شکل ۱)، ژنوتیپ‌های G5 (سیروان)، G22 (S-91-15) و G27 (M-92-20) با عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط بدون‌تنش و تنش و نیز مقدار SIIG بالا جزء متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا بودند و در گروه A قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های G1 (چمران)، G20 (خلیل)، G21 (S-9-13) و G28 (WS-90-18) با وجود داشتن مقدار کم شاخص SIIG، دارای عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش بودند. این مطلب نشان داد که هر چند این ژنوتیپ‌ها دچار کاهش عملکرد زیادی در شرایط تنش خشکی شدند، ولی باز هم عملکرد آن‌ها در شرایط تنش از متوسط کل بیش‌تر بود که این مطلب بیانگر پرمحصول بودن این ژنوتیپ‌ها و مناسب بودن آن‌ها برای مناطقی است که با تنش انتهای فصل مواجه نمی‌شوند. البته حتی اگر در این مناطق گیاه دچار تنش انتهای فصل شود این ژنوتیپ‌ها می‌توانند عملکرد قابل قبولی تولید کنند.

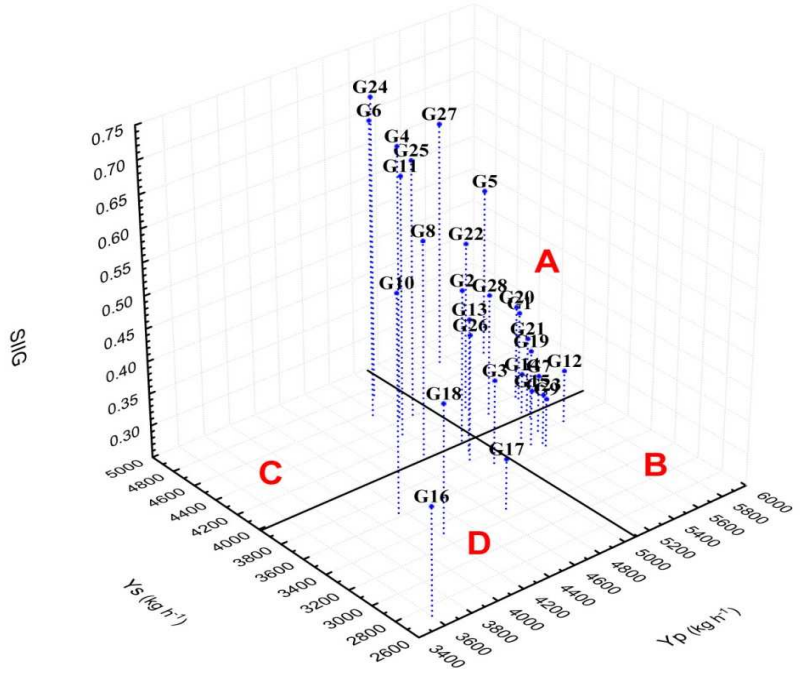
ژنوتیپ‌های G3 (چمران ۲)، G16 (آذر ۲)، G17 (فلامینگو)، G18 (UG520) و G26 (S-92-19) با عملکرد پایین‌تر از متوسط کل در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش و نیز مقدار SIIG کم، از ژنوتیپ‌های ضعیف و حساس به خشکی بودند و در گروه D قرار گرفتند. البته لازم به توضیح است که مقداری از کاهش عملکرد رقم چمران ۲ به‌دلیل وجود شته بود. ژنوتیپ‌های گروه B، شامل ژنوتیپ‌های G7 (شوش)، G19 (نارین)، G12 (قابوس)، G14 (سیستان)، G15 (Rezhav)، G19 (Line 181) و G23 (S-92-11) با عملکرد بالا در شرایط بدون‌تنش و عملکرد پایین‌تر از متوسط کل در شرایط تنش خشکی و مقدار شاخص SIIG پایین، جزء ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند. ژنوتیپ‌های G2 (شیرودی)، G4 (افلاک)، G6 (بهاران)، G8 (مهرگان)، G11 (دهدشت)، G24 (S-92-13) و G25 (S-92-17) در گروه C قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد پایین در شرایط بدون‌تنش و عملکرد بالاتر از متوسط کل در شرایط تنش بودند و با بالاترین مقدار SIIG جزء متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی شناخته شدند. در واقع این ژنوتیپ‌ها مساعد مناطق با تنش انتهای فصل هستند (شکل ۱).

به‌منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی و گروه‌بندی آن‌ها از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. اولین و دومین مولفه به‌ترتیب ۶۳/۷۷ و ۳۵/۴۳ درصد و در مجموع ۹۹/۲۰ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند. نتایج بای‌پلات حاصل از دو مولفه اصلی اول و دوم، شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی را در سه گروه قرار داد (شکل ۲). شاخص‌های RDI، YI و SNPI در گروه اول، شاخص‌های YI، HM، GMP و STI به‌همراه Yp و Ys در گروه دوم و در نهایت شاخص‌های SSI، R%، TOL، MP و SSPI در گروه سوم قرار گرفتند. این نتایج نشان داد که شاخص‌های گروه دو بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد تحت شرایط تنش (Ys) و بدون‌تنش (Yp) دارند. هم‌چنین نتایج بای‌پلات نشان داد که شاخص‌های گروه یک با شاخص‌های گروه سه همبستگی بالا و منفی داشتند.

عسکر و همکاران (Askar *et al.*, 2011) به‌منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌های مختلف تجزیه پایداری در گندم از روش PCA استفاده و نمودار بای‌پلات را بر اساس دو مولفه اصلی اول و دوم که ۹۶/۷ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند، برای گروه‌بندی شاخص‌ها به‌کار بردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که شاخص‌های MP، GMP و STI بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد تحت شرایط تنش (Ys) و بدون‌تنش (Yp) داشتند. نتایج مشابهی توسط سی و سه مرده و همکاران (Siosemardeh *et al.*, 2006) گزارش شده است. فلاحی و همکاران (Falahi *et al.*, 2012) نیز مناسب‌ترین شاخص‌ها را برای غربال لاین‌های گندم دوروم در شرایط تنش و بدون‌تنش، شاخص‌های MP، STI، GMP و HM معرفی کردند. در تحقیق آن‌ها، Yp و Ys همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های MP، STI، GMP، SSI، TOL و HM داشتند (به جز Ys که همبستگی منفی با شاخص‌های SSI و TOL داشت). گنجعلی و همکاران (Ganjeali *et al.*, 2011)، نیکخواه و همکاران (Nickhah *et al.*, 2015)، و شاهمرادی و زهراوی (Shahmoradi and Zahravi, 2016) نیز نتایج مشابهی گزارش کردند.

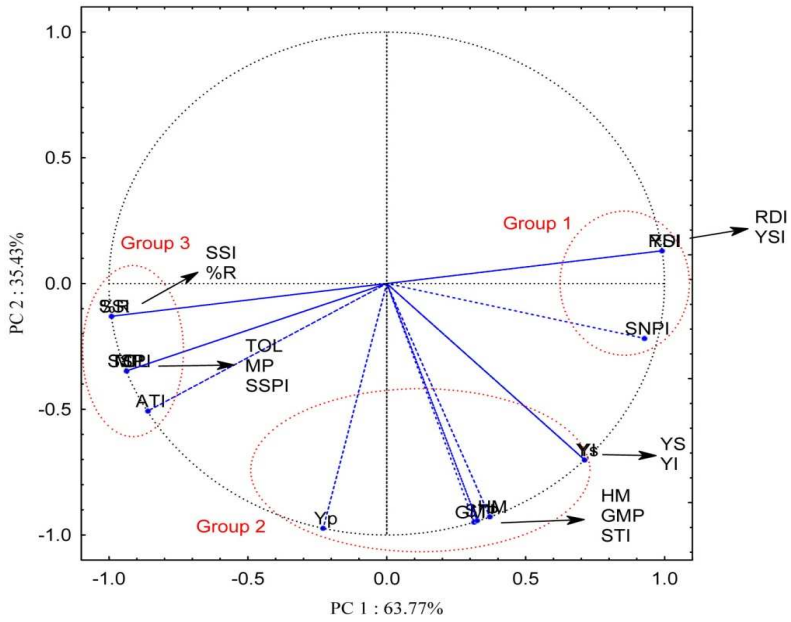
در انتخاب نهایی لاین‌های امیدبخش، علاوه بر عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش‌های محیطی، ویژگی‌های مرفولوژیک مانند ارتفاع بوته، زودرسی و وزن هزار دانه نیز از صفات مهم و تأثیرگذار هستند. از این‌رو، میانگین صفات تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش محاسبه و در جدول ۷ ارایه شد. نتایج نشان داد که رقم کریم زودرس‌ترین رقم در شرایط بدون‌تنش (۱۳۵ روز) و رقم قابوس زودرس‌ترین رقم در شرایط تنش خشکی

(۱۳۱ روز) بود. رقم فلامینگو نیز در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش یکی از دیررس‌ترین ارقام (۱۴۴ روز) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بود. بیش‌ترین وزن هزار دانه در هر دو شرایط مربوط به رقم دهدشت (۴۲ گرم در شرایط تنش و ۴۹ گرم در شرایط بدون‌تنش) بود. کم‌ترین وزن هزار دانه در شرایط بدون‌تنش مربوط به رقم چمران ۲ (۳۹ گرم) و در شرایط تنش مربوط به رقم شوش (۳۱ گرم) بود.



شکل ۱- نمودار سه بعدی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با استفاده از عملکرد تحت شرایط بدون‌تنش (Yp)، عملکرد تحت شرایط تنش (Ys) و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

Figure 1. Three dimensional diagram for selection of drought tolerant genotypes by using yield under non-stress condition (Yp), yield under drought stress (Ys) and selection index of ideal genotype (SIIG)



شکل ۲- نمودار بای‌پلات حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی جهت گروه‌بندی شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد تحت شرایط تنش (Y_S) و بدون‌تنش (Y_P) بر اساس اولین و دومین مولفه اصلی

Figure 2. Biplot diagram of principal component analysis for grouping drought tolerance indices and yield under stress (Y_S) and non-stress (Y_P) conditions based on the first and second principal components

جدول ۷- میانگین صفات روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی طی دو سال (۹۶-۱۳۹۴)

Table 7. Average of number of days to maturity, plant height and 1000-kernal weight under drought stress and non-stress (normal) conditions in two cropping season (2015-17)

Genotype	Number of days to maturity		Plant height (cm)		1000-grain weight (g)	
	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Sstress
Chamran	137	134	93	96	41	36
Shiroudi	137	133	97	98	44	38
Chamran2	137	133	100	103	39	39
Aflak	137	136	100	98	43	36
Sirvan	137	135	104	99	45	39
Baharan	137	134	102	102	42	36
Shoush	140	136	96	100	40	31
Mehregan	137	134	104	100	41	38
Narin	141	137	104	110	45	36
Karim	135	132	102	96	45	39
Dehdasht	136	135	99	96	49	42
Ghabous	137	131	105	104	45	37
Kohdasht	136	133	102	99	45	37
Sistan	140	134	102	100	38	36
Rezhav	140	135	103	100	42	34
Azar2	141	135	104	105	43	35
Felamingo	144	144	97	88	38	30
UG520	137	132	102	95	42	35
Line 181	138	133	110	94	42	33
Khalil	141	138	101	105	44	36
S-91-13	139	135	108	101	43	37
S-91-15	139	135	106	99	42	38
S-92-11	142	134	98	102	45	39
S-92-13	139	137	96	94	40	36
S-92-17	138	137	104	94	45	38
S-92-19	136	133	89	88	42	38
M-92-20	138	137	101	102	45	40
WS-90-18	136	136	109	99	45	35
Average	138	135	101	99	43	37

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که ژنوتیپ‌های S-92-13 و بهاران با بیش‌ترین مقدار SIIG از متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی و ژنوتیپ نارین با کم‌ترین مقدار SIIG از حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند. علاوه بر این، ژنوتیپ‌های سیروان، S-91-15 و M-92-20 با داشتن عملکرد بالاتر از متوسط کل تحت هر دو شرایط بدون‌تنش و تنش، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناخته شدند. هم‌چنین، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) نیز به‌عنوان یک مدل گزینش‌گر می‌تواند برای انتخاب ایده‌آل‌ترین ارقام و لاین‌ها از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی مورد استفاده قرار گیرد. از این شاخص می‌توان جهت انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها در سایر گیاهان از طریق ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی (Zali *et al.*, 2016)، شاخص‌های تجزیه پایداری (Zali *et al.*, 2015) یا صفات مختلف استفاده کرد. به‌عبارت دیگر، با ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی، شاخص‌های تجزیه پایداری یا صفات مختلف، یک شاخص واحد (شاخص SIIG) ایجاد و از آن به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر استفاده کرد.

References

Amiri-Oghan, H., Moghaddam, M., Ahmadi, M. R. and Davari, S. J. 2004. Gene action and heritability of drought stress tolerance indices in rapeseed (*Brassica napus*). **Iranian Journal of Agriccultural Science** 35 (1): 73-83. (In Persian with English Abstract).

Askar, M., Yazdansepas, A. and Amini. A. 2011. Evaluation of winter and facultative bread wheat genotypes under irrigated and post-anthesis drought stress conditions. **Seed and Plant Improvement Journal** 26 (1): 313-329. (In Persian with English Abstract).

Betran, F. J., Beck, D., Banziger, M. and Edmeades, G. O. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and non-stress environments in tropical maize. **Crop Science** 43: 807-817.

Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, FL.

Bouslama, M. and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. **Crop Science** 24: 933-937.

Ceccarelli, S. and Grando, S. 1991. Selection environment and environmental sensitivity in barley. **Euphytica** 57: 157-167.

Falahi, H. A., Alat Jafarbay, J. and Seydi, F. 2012. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. **Seed and Plant Improvement Journal** 27 (1): 15-22. (In Persian with English Abstract).

Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M. R. and Khodarahmi, M. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. **Iranian Journal of Agricultural Science** 8 (1): 79-89. (In Persian with English Abstract).

Farshadfar, E. and Elyasi, P. 2012. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. **European Journal of Experimental Biology** 2 (3): 577-584.

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo C. G. (Ed.). Adaptation of food crops to temperature and water stress. Shanhua: Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan. Publication No. 93-410. pp: 257-270.

Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: Grain yield response. **Australian Journal of Agricultural Research** 29: 897-912.

Fischer, R. A. and Wood, T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. **Australian Journal of Agricultural Research** 30: 1001-1020.

Ganjeali, A., Porsa, H. and Bagheri, A. 2011. Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. **Agricultural Water Management** 98: 1477-1484.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L. and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. **Canadian Journal of Plant Science** 77: 523-531.

Jasemi, S. Sh., Naghipour, F., Sanjani, S., Esfandiyari, E., Khorsand, H. and Najafian, G. 2017. Evaluation of quality properties of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in wheat producing provinces of Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences** 19 (2): 102-115. (In Persian with English Abstract).

Mohammadi, M., Karimizadeh, R. and Abdipour, M. 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. **Australian Journal of Crop Science** 5 (4): 487-493.

Mohammadnia, Sh., Asghari, A., Sofalian, O., Mohammaddoust Chamanabad, H., Karimizadeh, R. and Shokouhian, A. A. 2016. Evaluation of durum wheat lines using drought stress indices. **Journal of Crop Breeding** 8 (4): 11-23. (In Persian with English Abstract).

Mohseni, M., Mortazavian, S. M. M., Ramshini, H. A. and Foghi, B. 2015. Evaluation of drought tolerance in some wheat genotypes based on selection indices. **Iranian Journal of Field Crops Research** 13 (3): 524-542. (In Persian with English Abstract).

Mondal, S., Singh, R. P., Mason, E. R., Huerta-Espino, J., Autrique, E. and Joshi, A. K. 2016. Grain yield, adaptation and progress in breeding for early-maturing and heat-tolerant wheat lines in South Asia. **Field Crops Research** 192: 78-85.

Moosavi, S. S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H. and Pourshahbazi, A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. **DESERT** 12: 165-178.

Moradi, F., Esmaeilzadeh Moghaddam, M. and Zali, H. 2015. Production and remobilization of soluble carbohydrates in wheat. **Research Achievements for Field and Horticulture Crops** 4 (2): 141-162.

Naderi, A., Akbari Moghaddam, H. and Mahmoodi, K. 2014. Evaluation of bread wheat genotypes for terminal drought stress tolerance in south-warm regions of Iran. **Seed and Plant Improvement Journal** 29 (3): 6101-616. (In Persian with English Abstract).

Naeemi, M., Akbari, Gh. A., Shirani-Rad, A. H., Modares Sanavi, S. A. M., Sadat-Noori, S. A. and Jabari, H. 2008. Evaluation of drought tolerance in different canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. **European Journal of Cancer Prevention** 1 (3): 83-98.

Nickhah, H. R., Naghavi, M. R., Mohammadi, V. A. and Soltanloo, H. 2015. Physiological and agronomic traits related to drought tolerance in barley recombinant inbred line population (*Arigashar* × *Igri*). **Seed and Plant Improvement Journal** 30 (1): 821-840. (In Persian with English Abstract).

Lucas, H. 2013. An international vision for wheat improvement. Wheat initiative report, May 2013. Available at: http://www.wheatinitiative.org.

Rajaram, S. and Van Ginkle, M. 2001. Mexico, 50 years of international wheat breeding. In: Bonjean, A. P. and Angus, W. J. (Eds.). The world wheat book: A history of wheat breeding. Lavoisier Publishing, Paris, France. pp: 579-604.

Rathjen, A. J. 1994. The biological basis of genotype-environment interaction: Its definition and management. In: Proceedings of the Seventh Assembly of the Wheat Breeding Society of Australia, Adelaide, Australia.

Richards, R. A. 1978. Genetic analysis of drought stress response in rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*). I: Assessment of environments for maximum selection response in grain yield. **Euphytica** 27: 609-615.

Rosielle, A. A. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. **Crop Science** 21: 943-946.

Shahmoradi, Sh. and Zahravi, M. 2016. Evaluation of drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm from warm and dry climates of Iran. **Seed and Plant Improvement Journal** 32 (2): 181-200. (In Persian with English Abstract).

Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crops Research** 98: 222-229.

Talebi, R., Fayaz, F. and Naji, A. M. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat. **General and Applied Plant Physiology** 35 (1-2): 64-74.

Yousofi, M. and Rezaei, A. M. 2008. Assessment of drought tolerance in different breeding lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources** 42 (11): 113-122. (In Persian with English Abstract).

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A. and Hoseini, S. M. 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. **Biological Forum-An International Journal** 7 (2): 703-711.

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A. and Zeinalabedini, M. 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. **Journal of Crop Breeding** 78 (20): 77-90. (In Persian with English Abstract).

Zivcak, M., Brestic, M., Balatova, Z., Drevenakova, P., Olsovska, K., Kalaji, H. M., Yang, X. and Allakhverdiev, S. I. 2013. Photosynthetic electron transport and specific photoprotective responses in wheat leaves under drought stress. **Photosynthesis Research** 117 (1-3): 529-546.

doi: 10.22124/c.2018.10434.1398

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 8, No. 2, Summer 2018 (209-225)

Drought tolerance evaluation of bread wheat cultivars and promising lines in warm and dry climate of the south

Syrous Tahmasebi[1], Manoochehr Dastfal[2], Hassan Zali[3*] and Majid Rajaie[4]

Received: May 11, 2018 Accepted: August 19, 2018

Abstract

To determine drought tolerance of bread wheat genotypes, nineteen commercial varieties along with nine promising lines were studied in research field of Darab Agricultural and Natural Resources Research Center, Fars province, Iran, for two cropping seasons (2015 –2017). The experiments were conducted in a randomized complete block design (RCBD) with two replications under water stress at flowering stage and non-stress (normal irrigation) conditions. Thirteen selection indices including stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), tolerance index (TOL), yield index (YI), yield stability index (YSI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), abiotic-stress tolerance index (ATI), stress susceptibility percentage index (SSPI),stress non-stress production index (SNPI), relative drought index (RDI), harmonic mean (HM) and percentage of yield decrease (R%) were evaluated based on grain yield under drought-stressed and irrigated conditions. Also, selection index of ideal genotype (SIIG) based on all tolerance indices was defined and calculated. The results of grouping these indices based on the principal component analysis (PCA) classified them into three groups and the second group indices (HM, GMP and STI) showed the highest positive correlation with grain yield in both non-stress and drought stress conditions. Based on the results of SIIG index, the S-92-13 and Baharan genotypes with the highest SIIG (0.709 and 0.701, respectively) were the most ideal genotypes and Narin with the lowest SIIG (0.324) was the most susceptible genotype to drought stress. Three dimensional diagram of principal component analysis showed that the genotypes G5 (Sirvan), G22 (S-91-15) and G27 (M-92-20) with the higher grain yield than total average and high SIIG were most tolerant genotypes to drought stress. The results of this research showed that SIIG index could be used as a suitable method for identifying drought tolerant genotypes with the help of other drought tolerance indices.

Keywords: Selection index of ideal genotype (SIIG), Three dimensional diagram, Principal component analysis

1. Research Assist. Prof., Dept. of Seed and Plant Improvement, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran
2. Research Instructor, Dept. of Seed and Plant Improvement, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran
3. Research Assist. Prof., Dept. of Seed and Plant Improvement, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran
4. Research Assist. Prof., Dept. of Soil and Water Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran
* Corresponding author: hzali90@yahoo.com