تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
۸۷۳-۸۸۶
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.3482.1865

*مقاله پژوهشی*

# ارزیابی تحمل به خشکی توده‌های بومی گندم نان با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر عملکرد و شاخص انتخاب یکپارچه

**فاطمه باوندپوری[1*]، عزت‌اله فرشادفر[2]، محسن فرشادفر[3]**

۱. دانشجوی دکترای اصلاح نباتات، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۲. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۳. دانشیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور

**تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۳**

## چکیده

**برای ارزیابی تحمل به خشکی ۲۵ ژنوتیپ گندم، پژوهشی در سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۶ بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط تنش و بدون تنش در دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. شاخص‌های بررسی‌شده شامل: شاخص حساسیت به تنش، شاخص عملکرد، تحمل تنش، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک، تحمل تنش تغییریافته، مقاومت به خشکی، حساسیت به خشکی، پاسخ به خشکی، تحمل تنش غیر زیستی، کارایی نسبی، شدت تنش اشنایدر و میانگین نسبی عملکرد بودند. بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری بر اساس شاخص‌ها و عملکرد در هر دو محیط وجود داشت. بین شاخص‌های GMP، STI، HMP، MSTI، MRP، MP، YI و REI با عملکرد در محیط‌های بدون تنش و تنش همبستگی معنی‌دار و مثبت وجود داشت. ژنوتیپ‌های شماره ۱۰ (WC.4987) و ۱۵ (WC.47638) بر اساس شاخص‌های STS و ISI به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر تعیین شدند. بر اساس بای‌پلات به‌دست‌آمده از مؤلفه‌های اصلی اول و دوم ژنوتیپ‌های ۲۴، ۱۱، ۴، ۲۲، ۲۱، ۱۲ و ۱۶ به علت نزدیکی با شاخص‌های برتر، برای هر دو شرایط مناسب هستند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که دو مؤلفه اول (۵۷/۲۱ درصد) و مؤلفه دوم (۴۱ درصد) روی‌هم ۹۸/۲۱ درصد واریانس را توجیه کردند. به دلیل اختلاف در نتایج، برای دقت بیشتر از رتبه‌بندی استفاده به عمل آمد. در رتبه‌بندی بر اساس مجموع رتبه‌ها، میانگین رتبه‌ها و انحراف معیار رتبه‌ها، ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۱۰ و ۱۵ دارای بهترین رتبه بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و ژنوتیپ‌های ۴، ۱۱ و ۲۲، ژنوتیپ‌های حساس شناخته شدند. درنتیجه، از این ژنوتیپ‌ها می‌توان برای تلاقی و تجزیه ژنتیکی برای مقاومت به خشکی از طریق روش‌هایی مثل تجزیه دی آلل، نقشه‌یابی، انتخاب به کمک مارکر و ... استفاده نمود.**

***واژه‌های کلیدی:*** **بای پلات، تنش خشکی، شاخص‌های تحمل خشکی، گندم نان**

## مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین غله دانه‌ای است که بزرگ‌ترین سطح زیر کشت دنیا را به خود اختصاص داده است. این گیاه نقش اساسی در تأمین غذای بشر ایفا می‌کند به‌طوری‌که ۵۴ درصد انرژی هر انسان را تأمین می‌کند (Abdi et al., 2016; Khodabandeh, 2008; Arzani, 2004). خشک‌سالی یک مشکل جهانی است که محدودیت‌های عمده‌ای برای افزایش تولید گندم در مناطق خشک و نیمه‌خشک شبیه ایران دارد (Amiri et al. 2015). در بین تنش‌های مختلف، مشکل‌ترین تنش ازنظر اندازه‌گیری، تنش خشکی است؛ زیرا مکانیسم‌های مختلفی منجر به مقاومت می‌شوند. تنش خشکی، از مهم‌ترین عواملی است که شاید براثر بارش کم، حرارت بالا و باد زیاد ایجاد شود.

* نگارنده پاسخگو: فاطمه باوندپوری. پست الکترونیک: bavandpouri.fatemeh@razi.ac.ir

عکس‌العمل گیاه نسبت به آن به مرحله‌ای از رشد بستگی دارد که تنش در آن صورت می‌گیرد (Farshadfar, 2018). تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و در اواخر فصل رشد سبب نقصان چشمگیر عملکرد می‌گردد؛ بنابراین، مطالعه، بررسی و انجام آزمایش‌های تنش خشکی می‌تواند یکی از جنبه‌های مختلف مرتبط با مقاومت خشکی در گندم به‌منظور استفاده از راهکارهای مقابله با عوارض این تنش باشد. چراکه می‌توان با بررسی این جنبه‌ها که با پایداری عملکرد در شرایط تنش مرتبط هستند، صفات مناسب را انتخاب و از طریق آن‌ها اقدام به‌گزینش ژنوتیپ‌ها و درنهایت توسعه ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت شرایط تنش خشکی نمود (Amiri et al., 2013). امروزه اصلاح‌کنندگان نبات در جستجوی مواد ژنتیکی خارجی و ارقام وحشی برای اصلاح ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی هستند که نژادهای بومی اولین نمونه‌ی ساده‌ی انتخاب بلندمدت و تکراری برای تولید پایدار در شرایط تنش‌های محیطی است (Farshadfar, 2018). یکی از روش‌های شناسایی ارقام مقاوم به خشکی غربالگری گیاهان بر اساس شاخص‌های خشکی است که بر مبنای آن ارقام مقاوم انتخاب می‌شوند (Talebi et al. 2009; Geravandi et al., 2011).

فیشر و مورر (Fisher and Morer, 1978) شاخص حساسیت به تنش را پیشنهاد کردند، هرقدر مقدار این شاخص کمتر باشد، مقدار مقاومت به خشکی، زیادتر است. روسیل و حامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) دو شاخص تحمل و شاخص میانگین بهره‌وری را به‌عنوان شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی، معرفی کردند. هراندازه، مقدار شاخص تحمل تنش بیشتر باشد یعنی حساسیت ژنوتیپ به تنش بیشتر است در عوض، هرقدر مقدار میانگین بهره‌وری بیشتر باشد، مقاومت رقم به تنش بیشتر است که این شاخص معرف عملکرد آبی بالا و تحمل تنش پایین است. بدینگر و همکاران (Bidinger et al., 1987) شاخص دیگری تحت عنوان شاخص پاسخ به خشکی (RDI) ارائه دادند که این شاخص هم مستقل از عملکرد آبی و هم مستقل از اثرات فنولوژی است. فرناندز (Fernandez, 1992) گیاهان را بر اساس عملکرد در محیط‌های بدون تنش و تنش به چهار گروه تقسیم می‌کند: ۱- گروه A: ارقامی که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالایی دارند. ۲- گروه B: گیاهان با عملکرد زیاد در شرایط بدون تنش. ۳- گروه C: ارقامی با تولید بالا در شرایط تنش. ۴- گروه D: گیاهان با عملکرد کم در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (Fernandez 1992). میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص‌های تحمل به تنش نیز به‌وسیله فرناندز معرفی شد. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری شاخص دقیق‌تری برای تفکیک کردن گروه A از بقیه گروه‌ها است. در برآورد شاخص تحمل تنش، شدت تنش نیز لحاظ شده است بنابراین این شاخص می‌تواند گروه A را از گروه‌های B و C تمیز دهد. فرشادفر و شوتکا (Farshadfar and Sutka, 2002) جهت بهبود کارایی STI شاخص تغییریافته تحمل تنش (MSTI) را پیشنهاد کردند، که در آن، فرمول STI توسط وزنه‌ای اصلاح می‌گردد. شاخص عملکرد (YI) توسط گاووزی و همکاران (Gavuzzi et al., 1997) پیشنهاد شد که گیاهان را فقط بر مبنای عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند، درنتیجه اعضای گروه A را تفکیک نمی‌کند. شاخص پایداری عملکرد به‌وسیله بوسلما و شاپاق (Bouslama and Schapaugh, 1984) معرفی شد، که عملکرد یک گیاه در شرایط تنش ارزیابی صورت می‌گیرد. ارقامی با YSI بالاتر، پیش‌بینی می‌شود که در هر دو شرایط، عملکرد بیشتری داشته باشد، ولی در تحقیقات سی‌وسه مرده و همکاران (Sio-semarde et al., 2006) ارقامی که دارای مقادیر بالای YSI بودند دارای کمترین عملکرد در شرایط بدون تنش و عملکرد بیشتر در وضعیت استرس بودند. شاخص تنش غیرزیستی (ATI) و شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) توسط موسوی و همکاران (Moosavi et al., 2008) معرفی شد. در مطالعه آن‌ها، دو شاخص ATI و SSPI نسبت به شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در شناسایی ژنوتیپ‌هایی که تحمل نسبی به تنش خشکی داشتند، کارایی بیشتری نشان دادند. شیبانی راد و فرشادفر (Shibani rad and Farshadfar, 2017) کامرانی و همکاران (Kamrani et al., 2018) در ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم نان، شاخص‌های GMP، MP، STI، MSTI، YI، DI و HM را برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول در دو محیط تنش و بدون تنش مناسب تشخیص دادند که در بین آن‌ها دو شاخص STI و MP به‌عنوان مناسب‌ترین معیارها برای انتخاب ارقام متحمل شناخته شدند. ملاحیدری بافقی و همکاران (Molla Heydari Bafagi et al., 2017) در ارزیابی تحمل به تنش‌های شوری و خشکی در ژنوتیپ‌های گندم، شاخص‌های TOL، STI، MP و GMP را به‌عنوان بهترین شاخص‌ها جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب کردند. محققان

همواره به دنبال معیارهایی هستند که بتوانند از طریق آن‌ها یک انتخاب جامع ازنظر صفاتی که مطالعه می‌کنند داشته باشند و درنهایت باعث بهبود عملکرد دانه و سایر صفات زراعی گردند که شاخص انتخاب جامع یا ISI و روش رتبه‌بندی نمونه‌ای از این معیارها هستند (Khakwani et al., 2011; Farshadfar et al., 2012a). افیونی و همکاران (Afiuni et al., 2015) به‌منظور بررسی تحمل ژنوتیپ‌های گندم نان به تنش خشکی انتهای فصل بر اساس برخی صفات زراعی و شاخص‌های مقاومت به خشکی از روش رتبه‌بندی استفاده کرد و ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به خشکی شناسایی شدند. پور ابوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh et al., 2020) به بررسی برآوردهای پارامترهای ژنتیکی و توارث پذیری صفات دخیل در فرآیند فتوسنتز در توده‌های گندم وحشی تحت شرایط تنش کم‌آبی پرداختند و به‌منظور شناسایی این توده‌ها از روش رتبه‌بندی استفاده کردند. در روش رتبه‌بندی، برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس همه صفات مطالعه شده در شرایط دیم و آبی، ابتدا شاخص‌هایی که بالاترین میزان آن‌ها بهتر است رتبه یک و همچنین برای شاخص‌هایی که میزان کم آن‌ها مفید است عدد یک در نظر گرفته می‌شود. بر اساس رتبه‌های داده‌شده به هر شاخص، پارامترهای میانگین رتبه، انحراف معیار رتبه و مجموع رتبه محاسبه و بر اساس این پارامترها ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی می‌شوند.

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی تحمل به خشکی توده‌های بومی گندم نان بر اساس شاخص‌های مبتنی بر عملکرد و شاخص انتخاب یکپارچه در شرایط تنش و بدون تنش و همچنین انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کمبود آب و بررسی روابط بین عملکرد و شاخص‌های مقاومت به خشکی است.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۲۵ ژنوتیپ گندم نان دریافتی از مؤسسه تحقیقات نهال و بذر (جدول ۱) با استفاده از طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو شرایط تنش و بدون تنش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی کرمانشاه در سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ اجرا شد. هر کرت شامل ۵ خط دو متری و فاصله خطوط ۲۳ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع بود. پنج نمونه تصادفی از هر کرت با لحاظ اثر حاشیه‌ای یادداشت‌برداری صورت گرفت. متوسط بارندگی در سال موردبررسی (۱۳۹۵-۹۶) و موقعیت جغرافیایی محل اجرای آزمایش در جدول شماره ۲ نشان داده‌شده است. برای بررسی میزان تحمل ژنوتیپ‌های موردمطالعه ازنظر حساسیت و مقاومت به خشکی از شاخص‌های مختلف تنش استفاده گردید. شاخص مقاومت خشکی (Lan, 1998)، شاخص حساسیت به خشکی (Fisher and Maurer, 1978)، شاخص پاسخ به خشکی (Fisher and Maurer, 1978)، شاخص کاهش نسبی عملکرد (Emmer et al., 2011)، شاخص کارایی نسبی (Ramirez and Kelly, 1998)، شاخص شدت تنش اشنایدر (Schnider et al., 1997)، میانگین نسبی عملکرد (Ramirez and Kelly, 1998)، شاخص حساسیت به تنش (Fisher and Maurer, 1978)، تحمل تنش (Rosielle and Hamblin, 1981)، میانگین بهره‌وری (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص عملکرد (Lin et al., 1986)، پایداری عملکرد (Bouslama and Schapaugh, 1984)، تحمل تنش (Fernandez 1992)، میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez 1992)، میانگین هارمونیک (Fernandez, 1992)، تحمل تنش تغییریافته (Fernandez, 1992)، تحمل تنش غیر زیستی و درصد حساسیت به تنش (Moosavi et al., 2008)، ارزیابی فشار تنش (Bouslama and Schapaugh, 1984)، شاخص STS (Sardouie-Nasab et al. 2014; Richad et al., 2002) و شاخص ISI (Blum, 1992, Hashemi nasab et al., 2011, Blum 2005). همچنین از مجموع رتبه به‌منظور نتیجه‌گیری بهتر در خصوص کلیه شاخص‌ها استفاده گردید.

کلیه محاسبات آماری موردنیاز اعم از ضرایب همبستگی، محاسبه شاخص‌ها و پارامترهای آماری و رسم نمودار بای پلات توسط نرم‌افزارهای EXCEL، SPSS و STATISTICA انجام گرفت.

## نتایج و بحث

به‌منظور ارزیابی تحمل به خشکی توده‌های بومی گندم نان در دو محیط تنش و بدون تنش شاخص‌های مختلف خشکی محاسبه شدند (جدول ۳). شناسایی ارقام متحمل به خشکی بر اساس یک شاخص نتایج متفاوتی نشان می‌دهد. مثلاً بر اساس شاخص STI ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۸، ۱۵ و ۲۰ مقاوم به خشکی شناخته شدند، ولی بر اساس شاخص GMP ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۸، ۱۵ و ۱۳ به‌عنوان ژنوتیپ‌های

مقاوم به خشکی معرفی شدند. به دلیل اختلاف در نتایج، برای دقت بیشتر از رتبه‌بندی استفاده به عمل آمد. (Afiuni et al., 2015; Farshadfar and Amiri, 2018; Tarabideh et al., 2013; Nouri et al., 2011)؛ که در رتبه‌بندی بر اساس مجموع رتبه‌ها، میانگین رتبه‌ها و انحراف معیار رتبه‌ها ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۱۰ و ۱۵ دارای بهترین رتبه بودند و تحت عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی شناسایی شدند. درنتیجه، از این ژنوتیپ‌ها می‌توان برای تلاقی و تجزیه ژنتیکی برای مقاومت به خشکی از طریق روش‌هایی مثل تجزیه دی آلل، نقشه‌یابی، انتخاب به کمک مارکر و ... استفاده نمود؛ و ژنوتیپ‌های ۴، ۱۱ و ۲۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به خشکی غربال شدند. میزان مقاومت به خشکی ۲۰ ژنوتیپ گندم بر اساس رتبه‌بندی RS شناسایی و معرفی شدند (Farshadfar and Eliasi, 2012, Farshadfar et al., 2013). نوری‌فرجام و همکاران (Noorifarjam et al., 2013) برای شناسایی ژنوتیپ متحمل به خشکی بر اساس شاخص‌های خشکی از رتبه‌بندی RS استفاده کردند.

**جدول ۱. کد و نام ژنوتیپ‌های گندم**

**Table 1. Code and name of wheat genotype**

| کد ژنوتیپ Genotype code | نام ژنوتیپ Genotype name | کد ژنوتیپ Genotype code | نام ژنوتیپ Genotype name | کد ژنوتیپ Genotype code | نام ژنوتیپ Genotype name |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | WC.4924 | 10 | WC.4987 | 19 | Pishtaz |
| 2 | WC.4582 | 11 | WC.47615 | 20 | Pishgam |
| 3 | WC.4592 | 12 | WC.4612 | 21 | WC.47640 |
| 4 | WC.47341 | 13 | WC.5001 | 22 | WC.47467 |
| 5 | WC.4965 | 14 | WC.4994 | 23 | WC-4553 |
| 6 | WC.4840 | 15 | WC.47638 | 24 | WC.4583 |
| 7 | WC.4958 | 16 | WC.47583 | 25 | WC.4554 |
| 8 | WC.47399 | 17 | WC.47522 | | |
| 9 | WC.4600 | 18 | WC.47569 | | |

**جدول ۲. موقعیت جغرافیایی و آب هوایی محل اجرای آزمایش**

**Table 2. Geographic location and climate of the experiment site**

| | | |
|---|---|---|
| Longitude | طول جغرافیایی | 47 درجه و 9 دقیقه |
| Latitude | عرض جغرافیایی | 34 درجه و 21 دقیقه |
| Altitude | ارتفاع از سطح دریا | 1319 متر (m) |
| Medium rainfall | متوسط بارندگی | 450-480 میلی‌متر (mm) |
| Soil pattern | بافت خاک | سیلتی رسی (Silty-Clay) |
| Climatic and natural conditions | وضعیت آب و هوایی و وضع طبیعی | سرد معتدل، رشته‌کوه‌های زاگرس شمالی (Cold temperate, North Zagros Mountains) |
| Average annual temperature | متوسط درجه حرارت سالیانه | 13.3$^{oc}$ درجه سلسیوس |
| Rainfall in the year of the experiment | میزان بارندگی در سال اجرای آزمایش | 401.51 میلی‌متر (mm) |

بر اساس شاخص STS ژنوتیپ‌های ۱۰، ۸، ۱۵ و ۱۷ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند و طبق ISI ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۵، ۱۳ و ۶ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل غربال شدند (جدول ۴). شاخص STS بسیار راحت‌تر از تجزیه به عامل‌ها است ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را شناسایی می‌کند (Abdolshahi et al., 2013). شاخص ISI بر اساس

ترکیب کردن روابط آبی، عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش می‌تواند جهت بهبود تحمل به خشکی در گیاهان زراعی یک شاخص مناسب باشد (Farshadfar, 2012). فرشادفر و قاسمی (Farshadfar and Ghasemi, 2015) از شاخص انتخاب یکپارچه (ISI) برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی استفاده کردند.

فرشادفر و امیری (Farshadfar and Amiri, 2018) میزان مقاومت به خشکی در ۱۹ لاین گندم نان را بر اساس صفات آگروفیزیولوژیک و شاخص انتخاب جامع را مطالعه کردند بیان کردند که تنش خشکی سبب کاهش ۲۲/۸۶ درصدی عملکرد دانه می‌شود.

فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2013) میزان تحمل به خشکی لاین‌های دیزومیک افزایشی گندم-چاودار را با استفاده از شاخص‌های زراعی-فیزیولوژیکی و شاخص جدید انتخاب یکپارچه (ISI) را ارزیابی کردند.

امین پناه و همکاران (Aminpanah et al., 2018) به ارزیابی ۱۸ ژنوتیپ برنج بر اساس عملکرد و اجزای آن تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به خشکی پرداختند و بر اساس نمره تحمل به تنش (STS) متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند.

**جدول ۳. میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های حساسیت و تحمل به خشکی و رتبه‌بندی آن‌ها**

**Table 3- Average Grain Yield and Drought Sensitivity and Tolerance Indicators and their Ranking**

| Genotype ژنوتیپ | $Y_P$ (g/m²) | R | $Y_S$ (g/m²) | R | STI | R | MP | R | GMP | R | HMP | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 322.20 | 19 | 239.38 | 20 | 0.492 | 20 | 280.79 | 20 | 277.72 | 20 | 274.68 | 20 |
| **2** | 526.59 | 3 | 283.40 | 13 | 0.953 | 7 | 405.00 | 6 | 386.31 | 7 | 368.49 | 7 |
| **3** | 355.60 | 15 | 262.82 | 17 | 0.597 | 17 | 309.21 | 16 | 305.71 | 17 | 302.25 | 16 |
| **4** | 304.55 | 22 | 208.83 | 22 | 0.406 | 24 | 256.69 | 24 | 252.19 | 24 | 247.76 | 22 |
| **5** | 353.34 | 17 | 261.51 | 18 | 0.590 | 18 | 307.43 | 18 | 303.98 | 18 | 300.57 | 18 |
| **6** | 442.37 | 8 | 342.69 | 4 | 0.968 | 6 | 392.53 | 7 | 389.35 | 6 | 386.20 | 5 |
| **7** | 431.72 | 9 | 277.26 | 14 | 0.764 | 10 | 354.49 | 9 | 345.97 | 10 | 337.66 | 10 |
| **8** | 358.07 | 14 | 338.53 | 5 | 0.774 | 9 | 348.30 | 10 | 348.16 | 9 | 348.03 | 8 |
| **9** | 410.24 | 10 | 275.12 | 15 | 0.721 | 12.5 | 342.68 | 11 | 335.95 | 13 | 329.36 | 13 |
| **10** | 565.75 | 1 | 424.73 | 1 | 1.534 | 1 | 495.24 | 1 | 490.20 | 1 | 485.20 | 1 |
| **11** | 317.21 | 20 | 201.89 | 23 | 0.409 | 23 | 259.55 | 23 | 253.07 | 23 | 246.74 | 24 |
| **12** | 298.98 | 24 | 236.94 | 21 | 0.452 | 21 | 267.96 | 21 | 266.16 | 21 | 264.37 | 21 |
| **13** | 508.45 | 4 | 309.49 | 8 | 1.005 | 4 | 408.97 | 4 | 396.69 | 4 | 384.77 | 6 |
| **14** | 482.62 | 6 | 263.96 | 16 | 0.813 | 8 | 373.29 | 8 | 356.92 | 8 | 341.27 | 9 |
| **15** | 482.01 | 7 | 372.95 | 2 | 1.148 | 3 | 427.48 | 3 | 423.99 | 3 | 420.52 | 3 |
| **16** | 214.21 | 25 | 190.15 | 25 | 0.260 | 25 | 202.18 | 25 | 201.82 | 25 | 201.46 | 25 |
| **17** | 354.00 | 16 | 319.10 | 6 | 0.721 | 12.5 | 336.55 | 13 | 336.10 | 12 | 335.64 | 11 |
| **18** | 544.26 | 2 | 354.27 | 3 | 1.231 | 2 | 449.26 | 2 | 439.11 | 2 | 429.18 | 2 |
| **19** | 492.24 | 5 | 318.70 | 7 | 1.002 | 5 | 405.47 | 5 | 396.08 | 5 | 386.90 | 4 |
| **20** | 384.01 | 13 | 285.14 | 12 | 0.699 | 14 | 334.58 | 14 | 330.90 | 14 | 327.27 | 14 |
| **21** | 313.97 | 21 | 303.47 | 9 | 0.608 | 16 | 308.72 | 17 | 308.68 | 16 | 308.63 | 15 |
| **22** | 331.92 | 18 | 197.36 | 24 | 0.418 | 22 | 264.64 | 22 | 255.94 | 22 | 247.53 | 23 |
| **23** | 403.74 | 11 | 240.30 | 19 | 0.620 | 15 | 322.02 | 15 | 311.48 | 15 | 301.29 | 17 |
| **24** | 304.24 | 23 | 292.04 | 11 | 0.567 | 19 | 298.14 | 19 | 298.08 | 19 | 298.02 | 19 |
| **25** | 391.08 | 12 | 293.72 | 10 | 0.733 | 11 | 342.40 | 12 | 338.92 | 11 | 335.48 | 12 |

$Y_P$ = عملکرد در شرایط نرمال، $Y_S$ = عملکرد در شرایط تنش، STI = شاخص تحمل تنش، MP = میانگین بهره‌وری، GMP = میانگین هندسی بهره‌وری، HMP = میانگین هارمونیک، R = رتبه

$Y_P$ = Potential Yield, $Y_S$ = Stress Yield, STI = Stress Tolerance Index, MP = Mean productivity, GMP = Geometric Mean Productivity, HMP = Harmonic Mean Productivity, R = Rank.

**Table 3. Continued** **جدول ۳. ادامه**

| Genotype ژنوتیپ | MSTI | R | YI | R | YSI | R | DI | R | RDI | R | REI | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 0.712 | 20 | 0.844 | 20 | 0.743 | 11.5 | 0.627 | 18 | 1.036 | 11.5 | 0.687 | 20 |
| **2** | 0.998 | 13 | 0.999 | 13 | 0.538 | 25 | 0.537 | 20 | 0.751 | 25 | 1.329 | 7 |
| **3** | 0.858 | 17 | 0.926 | 17 | 0.739 | 14 | 0.685 | 12 | 1.031 | 14 | 0.832 | 17 |
| **4** | 0.542 | 22 | 0.736 | 22 | 0.686 | 15 | 0.505 | 22 | 0.956 | 15 | 0.566 | 24 |
| **5** | 0.849 | 18 | 0.922 | 18 | 0.740 | 13 | 0.682 | 13 | 1.032 | 13 | 0.823 | 18 |
| **6** | 1.459 | 4 | 1.208 | 4 | 0.775 | 7 | 0.936 | 7 | 1.080 | 7 | 1.350 | 6 |
| **7** | 0.955 | 14 | 0.977 | 14 | 0.642 | 19 | 0.628 | 17 | 0.896 | 19 | 1.066 | 10 |
| **8** | 1.423 | 5 | 1.193 | 5 | 0.945 | 3 | 1.128 | 1 | 1.319 | 3 | 1.080 | 9 |
| **9** | 0.940 | 15 | 0.970 | 15 | 0.671 | 16 | 0.650 | 16 | 0.935 | 16 | 1.005 | 13 |
| **10** | 2.241 | 1 | 1.497 | 1 | 0.751 | 9.5 | 1.124 | 2 | 1.047 | 9.5 | 2.140 | 1 |
| **11** | 0.506 | 23 | 0.712 | 23 | 0.636 | 20 | 0.453 | 24 | 0.888 | 20 | 0.570 | 23 |
| **12** | 0.697 | 21 | 0.835 | 21 | 0.793 | 6 | 0.662 | 15 | 1.105 | 6 | 0.631 | 21 |
| **13** | 1.190 | 8 | 1.091 | 8 | 0.609 | 21 | 0.664 | 14 | 0.849 | 21 | 1.401 | 4 |
| **14** | 0.865 | 16 | 0.930 | 16 | 0.547 | 24 | 0.509 | 21 | 0.763 | 24 | 1.134 | 8 |
| **15** | 1.728 | 2 | 1.314 | 2 | 0.774 | 8 | 1.017 | 4 | 1.079 | 8 | 1.601 | 3 |
| **16** | 0.449 | 25 | 0.670 | 25 | 0.888 | 5 | 0.595 | 19 | 1.238 | 5 | 0.363 | 25 |
| **17** | 1.265 | 6 | 1.125 | 6 | 0.901 | 4 | 1.014 | 5 | 1.257 | 4 | 1.006 | 12 |
| **18** | 1.559 | 3 | 1.249 | 3 | 0.651 | 17 | 0.813 | 8 | 0.908 | 17 | 1.717 | 2 |
| **19** | 1.261 | 7 | 1.123 | 7 | 0.647 | 18 | 0.727 | 11 | 0.903 | 18 | 1.397 | 5 |
| **20** | 1.010 | 12 | 1.005 | 12 | 0.743 | 11.5 | 0.746 | 10 | 1.036 | 11.5 | 0.975 | 14 |
| **21** | 1.144 | 9 | 1.069 | 9 | 0.967 | 1 | 1.034 | 3 | 1.348 | 1 | 0.849 | 16 |
| **22** | 0.484 | 24 | 0.696 | 24 | 0.595 | 22.5 | 0.414 | 25 | 0.829 | 23 | 0.583 | 22 |
| **23** | 0.717 | 19 | 0.847 | 19 | 0.595 | 22.5 | 0.504 | 23 | 0.830 | 22 | 0.864 | 15 |
| **24** | 1.059 | 11 | 1.029 | 11 | 0.960 | 2 | 0.988 | 6 | 1.339 | 2 | 0.791 | 19 |
| **25** | 1.071 | 10 | 1.035 | 10 | 0.751 | 9.5 | 0.777 | 9 | 1.047 | 9.5 | 1.023 | 11 |

MSTI = شاخص تحمل تنش تغییر یافته، YI = Yeild Index، YSI = شاخص پایداری عملکرد، DI = شاخص مقاومت خشکی، RDI = شاخص پاسخ به خشکی، REI = شاخص کارایی نسبی، R = رتبه

MSTI = Modified Stress Tolerance Index, YI = Yeild Index, YSI = Yeild Stability Index, DI = Drought Resistance Index, RDI = Relative Drought Index, REI = Relative Efficiency Index, R = Rank

**Table 3. Continued** **جدول ۳. ادامه**

| Genotype ژنوتیپ | MRP | R | SSI | R | TOL | R | ATI | R | SSPI | R | SSSI | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 1.658 | 20 | 0.908 | 11 | 82.82 | 7 | 16491.23 | 7 | 10.46 | 7 | -0.026 | 11 |
| **2** | 2.329 | 6 | 1.632 | 25 | 243.20 | 25 | 67363.53 | 25 | 30.73 | 25 | 0.179 | 25 |
| **3** | 1.825 | 17 | 0.922 | 14 | 92.78 | 9 | 20338.07 | 10 | 11.72 | 9 | -0.022 | 14 |
| **4** | 1.506 | 24 | 1.111 | 15 | 95.72 | 10 | 17308.13 | 8 | 12.09 | 10 | 0.031 | 15 |
| **5** | 1.815 | 18 | 0.918 | 13 | 91.83 | 8 | 20015.33 | 9 | 11.60 | 8 | -0.023 | 13 |
| **6** | 2.326 | 7 | 0.796 | 7 | 99.69 | 13 | 27829.53 | 15 | 12.60 | 13 | -0.058 | 7 |
| **7** | 2.068 | 10 | 1.264 | 19 | 154.46 | 19 | 38316.14 | 19 | 19.52 | 19 | 0.075 | 19 |
| **8** | 2.098 | 9 | 0.193 | 3 | 19.55 | 3 | 4879.41 | 4 | 2.47 | 3 | -0.228 | 3 |
| **9** | 2.006 | 13 | 1.164 | 16 | 135.13 | 17 | 32549.55 | 16 | 17.07 | 17 | 0.046 | 16 |
| **10** | 2.926 | 1 | 0.881 | 10 | 141.01 | 18 | 49563.72 | 21 | 17.82 | 18 | -0.034 | 9.5 |
| **11** | 1.513 | 23 | 1.285 | 20 | 115.32 | 15 | 20925.05 | 11 | 14.57 | 15 | 0.081 | 20 |
| **12** | 1.591 | 21 | 0.733 | 6 | 62.03 | 6 | 11838.52 | 6 | 7.84 | 6 | -0.075 | 6 |
| **13** | 2.376 | 4 | 1.383 | 21 | 198.97 | 23 | 56592.22 | 23 | 25.14 | 23 | 0.108 | 21 |
| **14** | 2.150 | 8 | 1.601 | 24 | 218.66 | 24 | 55959.11 | 22 | 27.63 | 24 | 0.170 | 24 |
| **15** | 2.532 | 3 | 0.800 | 8 | 109.05 | 14 | 33152.77 | 17 | 13.78 | 14 | -0.057 | 8 |
| **16** | 1.211 | 25 | 0.397 | 5 | 24.07 | 4 | 3482.80 | 3 | 3.04 | 4 | -0.171 | 5 |
| **17** | 2.019 | 12 | 0.348 | 4 | 34.89 | 5 | 8408.92 | 5 | 4.41 | 5 | -0.184 | 4 |
| **18** | 2.624 | 2 | 1.234 | 17 | 190.00 | 22 | 59819.17 | 24 | 24.01 | 22 | 0.066 | 17 |
| **19** | 2.367 | 5 | 1.246 | 18 | 173.55 | 21 | 49285.74 | 20 | 21.93 | 21 | 0.070 | 18 |
| **20** | 1.975 | 14 | 0.910 | 12 | 98.88 | 12 | 23460.44 | 12 | 12.49 | 12 | -0.025 | 12 |
| **21** | 1.863 | 16 | 0.118 | 1 | 10.50 | 1 | 2324.45 | 1 | 1.33 | 1 | -0.250 | 1 |
| **22** | 1.534 | 22 | 1.433 | 23 | 134.56 | 16 | 24693.86 | 14 | 17.00 | 16 | 0.122 | 22.5 |
| **23** | 1.867 | 15 | 1.430 | 22 | 163.44 | 20 | 36501.06 | 18 | 20.65 | 20 | 0.122 | 22.5 |
| **24** | 1.798 | 19 | 0.142 | 2 | 12.19 | 2 | 2606.02 | 2 | 1.54 | 2 | -0.244 | 2 |
| **25** | 2.023 | 11 | 0.880 | 9 | 97.37 | 11 | 23661.33 | 13 | 12.30 | 11 | -0.034 | 9.5 |

MRP = میانگین نسبی عملکرد، SSI = شاخص حساسیت به تنش، TOL = تحمل تنش، ATI = شاخص تحمل تنش غیر زیستی، SSPI = شاخص درصد حساسیت به تنش، SSSI = شاخص شدت تنش اشنایدر، R = رتبه

MRP = Mean Relative Performance, SSI = Stress Susceptibility Index, TOL = Tolerance, ATI = Abiotic Tolerance Index, SSPI = Stress susceptibility percentage index, SSSI = Schneider's Stress Severity Index, R = Rank

**Table 3. Continued** **جدول ۳. ادامه**

| ژنوتیپ Genotype | DSI | R | RDY | R | PEV | R | R Mean | Standard deviation | Sum of Ranking |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 0.908 | 11 | -671.28 | 20 | 0.257 | 11.5 | 15.50 | 5.227 | 325.5 |
| **2** | 1.632 | 25 | -1392.35 | 7 | 0.462 | 25 | 15.91 | 8.792 | 334 |
| **3** | 0.922 | 14 | -834.60 | 17 | 0.261 | 14 | 14.62 | 2.674 | 307 |
| **4** | 1.111 | 15 | -535.97 | 24 | 0.314 | 15 | 18.76 | 5.394 | 394 |
| **5** | 0.918 | 13 | -824.04 | 18 | 0.260 | 13 | 14.91 | 3.576 | 313 |
| **6** | 0.796 | 7 | -1415.95 | 6 | 0.225 | 7 | 7.29 | 2.918 | 153 |
| **7** | 1.264 | 19 | -1096.96 | 10 | 0.358 | 19 | 14.67 | 4.305 | 308 |
| **8** | 0.193 | 3 | -1112.17 | 9 | 0.055 | 3 | 5.76 | 3.404 | 121 |
| **9** | 1.164 | 16 | -1028.64 | 13 | 0.329 | 16 | 14.55 | 1.987 | 305.5 |
| **10** | 0.881 | 10 | -2302.93 | 1 | 0.249 | 9.5 | 6.10 | 6.651 | 128 |
| **11** | 1.285 | 20 | -540.43 | 23 | 0.364 | 20 | 20.76 | 3.404 | 436 |
| **12** | 0.733 | 6 | -608.40 | 21 | 0.207 | 6 | 14.43 | 7.626 | 303 |
| **13** | 1.383 | 21 | -1473.63 | 4 | 0.391 | 21 | 12.71 | 8.289 | 267 |
| **14** | 1.601 | 24 | -1173.90 | 8 | 0.453 | 24 | 16.48 | 7.420 | 346 |
| **15** | 0.800 | 8 | -1697.65 | 3 | 0.226 | 8 | 6.24 | 4.403 | 131 |
| **16** | 0.397 | 5 | -307.31 | 25 | 0.112 | 5 | 15.95 | 10.205 | 335 |
| **17** | 0.348 | 4 | -1029.60 | 12 | 0.099 | 4 | 7.74 | 4.030 | 162.5 |
| **18** | 1.234 | 17 | -1828.13 | 2 | 0.349 | 17 | 9.67 | 8.481 | 203 |
| **19** | 1.246 | 18 | -1468.75 | 5 | 0.353 | 18 | 11.48 | 6.780 | 241 |
| **20** | 0.910 | 12 | -994.96 | 14 | 0.257 | 11.5 | 12.55 | 1.172 | 263.5 |
| **21** | 0.118 | 1 | -852.80 | 16 | 0.033 | 1 | 8.19 | 7.373 | 172 |
| **22** | 1.433 | 23 | -555.07 | 22 | 0.405 | 22.5 | 21.55 | 2.945 | 452.5 |
| **23** | 1.430 | 22 | -870.20 | 15 | 0.405 | 22.5 | 18.55 | 3.482 | 389.5 |
| **24** | 0.142 | 2 | -788.50 | 19 | 0.040 | 2 | 10.14 | 8.157 | 213 |
| **25** | 0.880 | 9 | -1048.67 | 11 | 0.249 | 9.5 | 10.52 | 1.145 | 221 |

DSI = شاخص حساسیت به خشکی، RDY = شاخص کاهش نسبی عملکرد، PEV = ارزیابی فشار تنش، R Mean = میانگین R، Standard deviation = انحراف معیار، Sum of Ranking = مجموع رتبه، R = رتبه

DSI = Drought Susceptibility Index, RDY = Relative Decrease in Yield, PEV = Press Evaluation, R = Rank

فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2013) بیان کردند که شاخص انتخاب یکپارچه (ISI) از انتخاب بر اساس یک صفت که نتایج متفاوت در پی دارد و بهتر ژنوتیپ‌های برتر را مشخص می‌کند. همچنین این شاخص قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A یعنی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد بالا تحت شرایط تنش و بدون تنش است که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

همبستگی بین شاخص‌های عملکرد دانه و تحمل به خشکی در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۵ نشان داده شده است. شاخص‌های REI، GMP، HMP، MSTI، YI،STI، MRP و MP با عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان دادند. این اطلاعات با گزارش‌های کامرانی و همکاران (Kamrani et al., 2018)، ملاحیدری بافقی و همکاران (Molahaidari et al., 2017)، شیبانی راد و فرشادفر (Shaibani rad and Farshadfar, 2017) مطابقت داشت که به این نتیجه رسیدند که این شاخص‌ها می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های پر محصول در هر دو شرایط محیطی معرفی شوند. شاخص‌های TOL، PEV، DSI، SSSI، SSI، ATI و SSPI با عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌دار در شرایط غیر تنش داشتند. می‌توان بیان کرد که این شاخص‌ها، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال ژنوتیپ‌های مقاوم هستند که با نتیجه سردویی نصب و همکاران (Sardoei nasab et al., 2014) هماهنگی داشت. شاخص‌های MP و TOL همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان دادند. شاخص TOL با عملکرد در شرایط آبی، SSI و MP همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. بین عملکرد و شاخص SSI در شرایط تنش همبستگی منفی وجود دارد که با نتیجه محمدی

(Mohamadi et al., 2006) مطابقت دارد. درنتیجه شاخص DI باعث افزایش عملکرد و شاخص‌های SSSI، DSI و SSI عملکرد دانه را در شرایط تنش کاهش می‌دهد. درمجموع می‌توان بیان کرد که مقادیر بالا برای شاخص‌های MP و STI بیانگر ژنوتیپ‌های گروه A و مقادیر پایین برای این دو شاخص برای بیان ژنوتیپ‌های گروه D است.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط تنش و غیر تنش در جدول شماره ۶ ارائه شده است. بر اساس این نتایج دو مؤلفه اول (۵۷/۲۱ درصد) و مؤلفه دوم (۴۱ درصد) روی‌هم ۹۸/۲۱ درصد بیشترین سهم را در توجیه واریانس داشتند. مؤلفه اول دارای ضرایب مثبت و بالا برای شاخص‌های ATI، YP، TOL و SSPI و دارای ضرایب منفی و بالا برای شاخص‌های RDY، RDI، YSI و DI است که به‌عنوان مؤلفه پایداری عملکرد و تحمل به تنش خشکی نامیده می‌شود. مؤلفه دوم دارای ضرایب مثبت و بالا برای YS، YI، MSTI، RDI و YSI و ضرایب منفی و بالا برای SSI، SSSI، DSI و PVE به‌عنوان مؤلفه حساس به تنش خشکی و پتانسیل عملکرد نام‌گذاری شد.

**جدول ۴. رتبه‌بندی بر اساس شاخص‌های STS و ISI**

**Table 4. Ranking by STS and ISI indices**

| Genotype ژنوتیپ | STS شاخص نمره تحمل به تنش | Rank رتبه | ISI شاخص انتخاب یکپارچه | Rank رتبه |
|---|---|---|---|---|
| **1** | -6.93 | 19 | -3.55 | 17 |
| **2** | -10.42 | 20 | 6.96 | 7 |
| **3** | -2.34 | 12 | -11.53 | 21 |
| **4** | -12.43 | 21 | -8.93 | 20 |
| **5** | -2.47 | 13 | -3.79 | 18 |
| **6** | 11.45 | 6 | 9.12 | 4 |
| **7** | -5.37 | 17 | 5.47 | 8 |
| **8** | 18.02 | 2 | -2.64 | 16 |
| **9** | -4.15 | 16 | -0.01 | 15 |
| **10** | 23.78 | 1 | 16.67 | 1 |
| **11** | -15.88 | 24 | -13.80 | 23 |
| **12** | -3.32 | 15 | -17.78 | 25 |
| **13** | -2.55 | 14 | 9.79 | 3 |
| **14** | -12.59 | 22 | 7.08 | 6 |
| **15** | 16.26 | 3 | 15.54 | 2 |
| **16** | -5.65 | 18 | -16.50 | 24 |
| **17** | 13.68 | 4 | 4.09 | 9 |
| **18** | 6.68 | 8 | 8.49 | 5 |
| **19** | 0.99 | 11 | 3.72 | 10 |
| **20** | 1.06 | 10 | 2.87 | 11 |
| **21** | 11.91 | 5 | 1.91 | 13 |
| **22** | -18.67 | 25 | -4.20 | 19 |
| **23** | -13.06 | 23 | 0.48 | 14 |
| **24** | 10.42 | 7 | -12.02 | 22 |
| **25** | 2.75 | 9 | 2.84 | 12 |

STS = Stress tolerance score, ISI = Integrated Selection Index, R = Rank

**جدول ۵. همبستگی بین شاخص‌های خشکی با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش**

**Table 5. Correlation between drought indices and grain yield under stress and non-stress conditions**

| | $Y_s$ | STI | MP | GMP | HMP | MSTI | YI | YSI | DI | RDI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **$Y_p$** | 0.706** | 0.923** | 0.955** | 0.933** | 0.907** | 0.696** | 0.706** | -0.524** | 0.180 | -0.524** |
| **YS** | | 0.908** | 0.884** | 0.913** | 0.937** | 0.992** | 1** | 0.216 | 0.820** | 0.216 |
| **STI** | | | 0.989** | 0.992** | 0.991** | 0.914** | 0.908** | -0.187 | 0.514** | -0.186 |
| **MP** | | | | 0.998** | 0.991** | 0.874** | 0.884** | -0.256 | 0.461* | -0.255 |
| **GMP** | | | | | 0.998** | 0.904** | 0.913** | -0. 196 | 0.516** | -0. 195 |
| **HMP** | | | | | | 0.929** | 0.937** | -0.134 | 0.569** | -0.134 |
| **MSTI** | | | | | | | 0.992** | 0.212 | 0.812** | 0.212 |
| **YI** | | | | | | | | 0.215** | 0.819** | 0.216 |
| **YSI** | | | | | | | | | 0.729** | 1** |
| **DI** | | | | | | | | | | 0.730** |

$Y_P$ = عملکرد در شرایط نرمال، $Y_S$ = عملکرد در شرایط تنش، STI = شاخص تحمل تنش، MP = میانگین بهره‌وری، GMP = میانگین هندسی بهره‌وری، HMP = میانگین هارمونیک، MSTI = شاخص تحمل تنش تغییر یافته، YI= شاخص عملکرد، YSI = شاخص پایداری عملکرد، DI = شاخص مقاومت خشکی، RDI = شاخص پاسخ به خشکی

$Y_P$ = Potential Yield, $Y_S$ = Stress Yield, STI = Stress Tolerance Index, MP = Mean productivity, GMP = Geometric Mean Productivity, HMP = Harmonic Mean Productivity, MSTI = Modified Stress Tolerance Index, YI = Yeild Index, YSI = Yeild Stability Index, DI = Drought Resistance Index, RDI = Relative Drought Index

**جدول ۵. ادامه**

**Table 5. Continued**

| | REI | MRP | SSI | TOL | ATI | SSPI | SSSI | DSI | RDY | PEV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **$Y_p$** | 0.923** | 0.933** | 0.524** | 0.777** | 0.901** | 0.777** | 0.524** | 0.524** | -0.923** | 0.524** |
| **YS** | 0.908** | 0.913** | -0.216 | 0.102 | 0.341 | 0.102 | -0.216 | -0.216 | -0.908** | -0.216 |
| **STI** | 1** | 0.991** | 0.187 | 0.488* | 0.737** | 0.555** | 0.255 | 0.256 | -0.989** | 0.256 |
| **MP** | -0.088 | 0.989** | 0.256 | 0.555** | 0.737** | 0.555** | 0.255 | 0.256 | 0.989** | 0.256 |
| **GMP** | 0.992** | 1** | 0.196 | 0.499* | 0.691** | 0.499* | 0.195 | 0.196 | -0.992** | 0.196 |
| **HMP** | 0.991** | 0.997** | 0.134 | 0.440* | 0.642** | 0.440* | 0.134 | 0.134 | -0.991** | 0.134 |
| **MSTI** | 0.914** | 0.904** | -0.212 | 0.096 | 0.336 | 0.096 | -0.212 | -0.212 | -0.914** | -0.212 |
| **YI** | 0.908** | 0.914** | -0. 215 | 0.102 | 0.341 | 0.102 | -0.216 | -0.215 | -0.908** | -0.215 |
| **YSI** | -0.186 | -0.192 | -1** | -0.928** | -0.799 ** | -0.928** | -1** | -1** | 0.186 | -1** |
| **DI** | 0.515** | 0.519** | -0.730** | -0. 477* | -0.244 | -0.477* | -0.730** | -0.730** | -0.515** | -0.729** |
| **RDI** | -0.186 | -0.191 | -1** | -0.928** | -0.799** | -0.928** | -1** | -1** | 0.186 | -1** |
| **REI** | | 0.991** | 0.186 | 0.488* | 0.688** | 0.488* | 0.186 | 0.186 | -1** | 0.186 |
| **MRP** | | | 0.192 | 0.498* | 0.691** | 0.498* | 0.191 | 0.192 | 0.991** | 0.192 |
| **SSI** | | | | 0.928** | 0.799** | 0.928* | 1** | 1** | -0.186 | 1** |
| **TOL** | | | | | 0.962** | 1** | 0.928** | 0.928** | -0.488* | 0.928** |
| **ATI** | | | | | | 0.962** | 0.799** | 0.799** | -0.689** | 0.799** |
| **SSPI** | | | | | | | 0.928** | 0.928** | -0.488* | 0.928** |
| **DSI** | | | | | | | | 1 | -0.186 | 1 |
| **RDY** | | | | | | | | | | -0.186 |

REI = شاخص کارایی نسبی، MRP = میانگین نسبی عملکرد، SSI = شاخص حساسیت به تنش، TOL = تحمل تنش، ATI = شاخص تحمل تنش غیر زیستی، SSPI = شاخص درصد حساسیت به تنش، SSSI =شاخص شدت تنش اشنایدر، DSI = شاخص حساسیت به خشکی، RDY = شاخص کاهش نسبی عملکرد، PEV = ارزیابی فشار تنش

REI = Relative Efficiency Index, MRP = Mean Relative Performance, SSI = Stress Susceptibility Index, TOL = Tolerance, ATI = Abiotic Tolerance Index, SSPI = Stress susceptibility percentage index, SSSI = Schneider's Stress Severity Index, DSI = Drought Susceptibility Index, RDY = Relative Decrease in Yield, PEV= Press Evaluation

بر اساس نمودار بای‌پلات (شکل ۱) ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۲، ۴، ۱۱، ۲۲، ۲۴ و ۲۱ در مقابل شاخص‌های مقاومت به خشکی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی داشتند، قرارگرفته‌اند. بیانگر این است که این نمونه‌ها، ژنوتیپ‌های گروه A هستند. سپهوند و جعفری (Sepahvand and Jafari, 2014) با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی گزارش کردند که دو مؤلفه‌ی اول و دوم درمجموع ۹۹ درصد از تغییرات را توجیه نموده، مؤلفه‌ی اول، مؤلفه‌ی مقاومت به خشکی نام گرفت که ۶۴ درصد از تغییرات واریانس را توصیف کرده و مؤلفه‌ی دوم که ۳۵ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داده بود مؤلفه‌ی حساسیت به تنش نامیده شد. علی و ال‌سادک (Ali and El-Sadek 2016) به‌منظور بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی گندم در شرایط تنش و بدون تنش از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند و بیان کردند که ۹۸ درصد از واریانس کل با دو مؤلفه اول توجیه شده و به‌عنوان شاخص‌های تحمل به خشکی نامیده شدند. اشرفی و همکاران (Ashrafi et al., 2013) گزارش دادند که با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بر اساس مؤلفه اول ژنوتیپ‌های برتر شناسایی‌شده و بر اساس مؤلفه دوم ژنوتیپ‌های حساس مشخص شدند. فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2012b) به بررسی ۱۳ شاخص تحمل به خشکی تحت شرایط تنش و بدون تنش پرداختند. نتایج حاصل از تجزیه بای‌پلات بیان کرد که عملکرد دانه در شرایط تنش با شاخص‌های YI، GMP، STI و MSTI رابطه مثبت و معنی‌داری دارد.

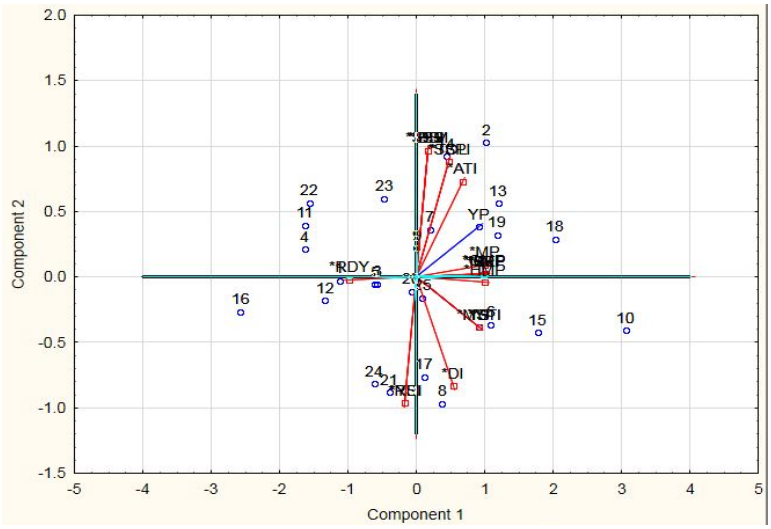
**جدول ۶. بررسی شاخص‌های مقاومت به خشکی با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی**

**Table 6. Study of drought resistance indices using principal component analysis**

| شاخص‌ها Indicies | مؤلفه اول The first component | مؤلفه دوم The second component |
|---|---|---|
| YP | 0.94 | 0.29 |
| YS | 0.43 | 0.89 |
| STI | 0.80 | 0.59 |
| MP | 0.85 | 0.49 |
| GMP | 0.82 | 0.56 |
| HMP | 0.75 | 0.65 |
| MSTI | 0.45 | 0.88 |
| YI | 0.43 | 0.89 |
| YSI | -0.74 | 0.67 |
| DI | -0.18 | 0.96 |
| RDI | -0.74 | 0.67 |
| REI | 0.80 | 0.59 |
| MRP | 0.82 | 0.55 |
| SSI | 0.74 | -0.67 |
| TOL | 0.92 | -0.37 |
| ATI | 0.95 | -0.22 |
| SSPI | 0.92 | -0.37 |
| SSSI | 0.74 | -0.67 |
| DSI | 0.74 | -0.67 |
| RDY | -0.80 | -0.59 |
| PEV | 0.74 | -0.67 |
| eigenvalues مقادیر ویژه | 10.87 | 7.79 |
| Percentage of variance درصد واریانس | 57.21 | 41.00 |
| The cumulative percentage درصد تجمعی | 57.21 | 98.21 |

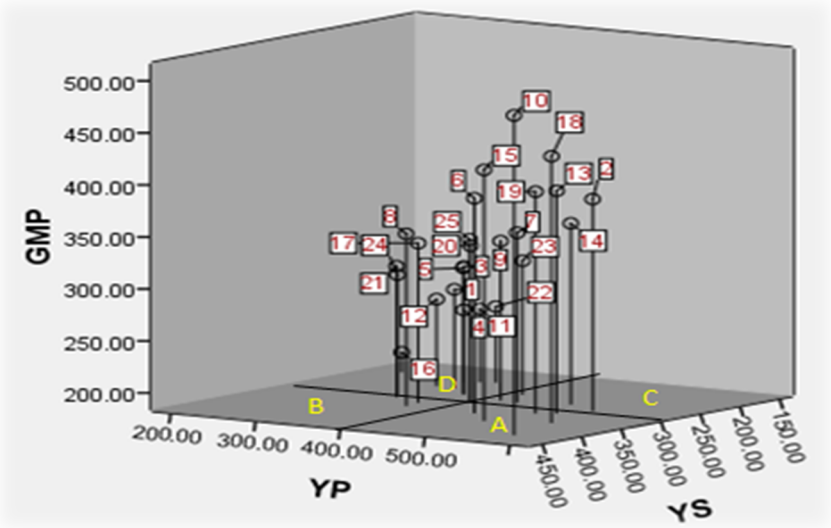
بعدازآن که بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی که دارای بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند شناسایی شدند، برای تعیین ارقام متحمل به تنش خشکی، از نمودار سه‌بعدی استفاده شد؛ که عملکرد در محیط غیرتنش بر روی محور X ها و عملکرد در محیط تنش بر روی محور Yها و یکی از شاخص‌های موردنظر بر روی محور Zها ترسیم گردید. برای و جدا کردن ژنوتیپ‌های گروه A از دیگر گروه‌ها (B، C و D)، سطح X-Y توسط خطوط متقاطع به چهار گروه A، B، C و D تقسیم شد. بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، نمودار بای پلات سه‌بعدی برای شاخص‌های STI و GMP رسم گردید. بر اساس نمودار سه‌بعدی شاخص STI (شکل ۳) و شاخص GMP (شکل ۲) ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۸، ۱۵، ۱۹ و ۵ به‌عنوان ژنوتیپ‌های گروه A انتخاب شدند.

درستکار و همکاران (Dorostkar et al., 2015) بر اساس مقدار بالای STI، MP، GMP و ارزش پایین SSI ژنوتیپ‌های مناسب را شناسایی کردند و بیان کردند. نقوی و همکاران (Naghavi et al., 2016) گزارش دادند ارقامی که بر اساس نمودار سه‌بعدی شاخص‌های متحمل به خشکی تشخیص داده شدند و بر اساس نمودار بای‌پلات در مجاور بردارهای مربوط به بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی یعنی MP، GMP، STI و HM قرار گرفتند. قاجارسپانلو و همکاران (Qajarspanlv et al., 2000) گزارش نمودند که



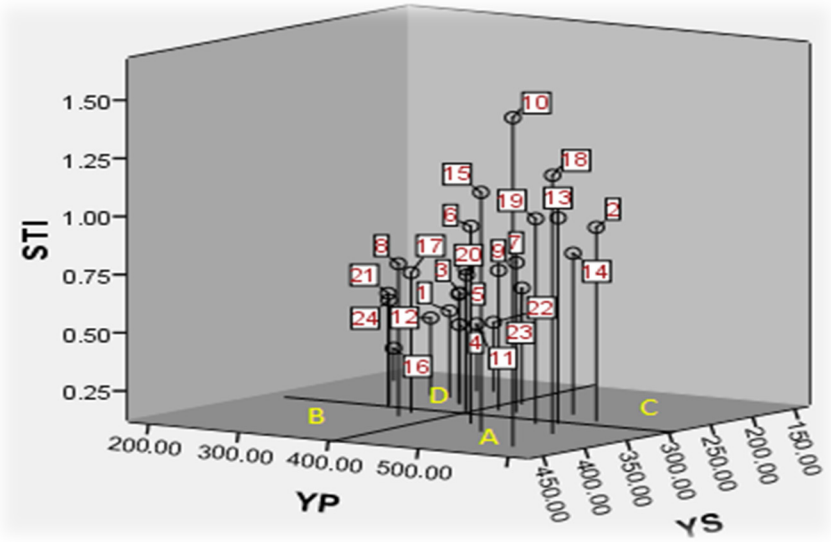

**شکل ۱. نمودار بای‌پلات حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مقاومت به خشکی**

**Fig. 1. Biplot plot of principal component analysis for drought resistance indices**




**شکل ۲. گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل فرناندز با استفاده از GMP. $Y_P$ = عملکرد در شرایط نرمال، $Y_S$ = عملکرد در شرایط تنش، GMP = میانگین هندسی بهره‌وری**

**Fig. 2. Selection of genotypes based on Fernandez model using GMP. YP = Potential Yield, YS = Stress Yield, GMP = Geometric Mean Productivity**




**شکل ۳. گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل فرناندز با استفاده از STI. $Y_P$ = عملکرد در شرایط نرمال، $Y_S$ = عملکرد در شرایط تنش، STI = شاخص تحمل تنش**

**Fig. 3. Selection of genotypes based on Fernandez model using STI. YP = Potential Yield, YS = Stress Yield, STI = Stress Tolerance Index**

عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش از ضرایب همبستگی بالاتری با شاخص‌های GMP، MP و STI برخوردار است. با توجه به گزارش نعیمی و همکاران (Naeemi et al., 2008) شاخص‌های GMP، MP و STI به‌واسطه دارا بودن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل کلزا به تنش آخر فصل می‌باشند. خلیل زاده و کربلایی خیاوی (Khalilzade and Karbalai-Khiavi, 2002) روی گندم دوروم بر این اعتقادند که مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که دارای

همبستگی به نسبت بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد، زیرا همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌ها و عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش، مناسب بودن این شاخص‌ها را برای ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد.

## نتیجه‌گیری نهایی

میزان کاهش عملکرد در اثر اعمال تنش در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت است. ژنوتیپ‌های متحمل با کمترین نقصان عملکرد و ژنوتیپ‌های حساس با بیشترین کاهش در عملکرد مواجه شده‌اند. همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش نشان داد که شاخص‌های MP، STI، GMP، HMP، MSTI، YI، MRP و REI برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در دو شرایط مناسب هستند. بر اساس نمودار بای‌پلات سه‌بعدی ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۵و ۱۸ در شرایط تنش و بدون تنش برتر بودند. بر اساس شاخص‌های STS و ISI ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۱۰ و ۱۵ تحمل بیشتری داشتند. برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی استفاده از یک یا تعداد اندکی شاخص نتایج متفاوتی خواهد داشت، لذا از رتبه‌بندی استفاده شد؛ که در رتبه‌بندی بر اساس مجموع رتبه‌ها، میانگین رتبه‌ها و انحراف معیار رتبه‌ها، ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۱۰ و ۱۵ دارای بهترین رتبه بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و ژنوتیپ‌های ۴، ۱۱ و ۲۲، ژنوتیپ‌های حساس شناخته شدند. جهت کسب نتایج دقیق‌تر باید این آزمایش‌ها در سال‌های بیشتری تکرار شود تا بتوان از این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان لاین‌های امیدبخش در خدمت افزایش تولید و کشاورزان قرار گیرد.

## منابع


Abdi, H., Fotokian, M.H., Shabanpour, S., 2016. Studying the inheritance mode of grain yield and yield components in bread wheat genotypes using generations mean analysis. Cereal Research. 6, 283-292.

Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S., Mohamadi-Nejad, G., 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. Archives of Agronomy and Soil Sciences. 59, 685–704.

Afiuni, D., Allahdadi, I., Akbari, Gh.A., Najafian, G., 2015. Evaluation of tolerance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to terminal drought stress based on some agronomic traits. Arid Biome Scientific and Research Journal. 5, 1-16. [In Persian with English Summary].

Ali, M.B., El-Sadek, A.N., 2016. Evaluation of drought tolerance indices for wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigated and rainfed conditions. Communications in Biometry and Crop Science. 11, 77–89.

Aminpanah, H., Sharifi, P., Akbar Ebadi, A., 2018. Evaluation of rice genotypes based on yield and yield components under complete irrigation and drought stress conditions and drought tolerance indices using biplot analysis. Cereal Research. 8(2), 169-183.

Amiri, R., Bahraminejad, S., Jalali-Honarmand, S., 2013. Effect of terminal drought stress on grain yield and some morphological traits in 80 bread wheat genotypes. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 5, 1145.

Amiri, R., Bahraminejad, S., Sasani, S., Jalali-Honarmand, S., Fakhri, R., 2015. Bread wheat genetic variation for grain's protein, iron and zinc concentrations as uptake by their genetic ability. European Journal of Agronomy. 67, 20-26.

Arzani, A., 2004. Breeding Field Crops. (eds): Poehlman, J.M., Sleper, D.A. Fourth Edition. Industry University of Esfahan Press. [In Persian with English Summary].

Ashrafi Parchin, R., Najaphy, A., Farshadfar, E., Hokmalipour, S., 2013. Assessment of drought tolerance in genotypes of wheat by multivariate analysis. World Applied Sciences Journal. 22, 594-600.

Bidinger, F.R., Mahalakshami, V., Rao, G.D.P., 1987. Assessment of drought resistance in pearel millet [*Pennisetum americanum* L. leeke]. II. Estimation of genotype response to stress. Australian Journal of Agricultural Research. 38, 37-48.

Blum, A., 1992. Selection for sustainable production in water-deficit environments. International Crop Science Society of America, Madison. Pp. 343–347.

Blum, A., 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Crop and Pasture Science. 56, 1159-1168.

Bouslama, M., 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.

Dorostkar, S., Dadkhodaie, A., Heidari, B., 2015. Evaluation of grain yield indices in hexaploid wheat genotypes in response to droughtstress. Archives of Agronomy and Soil Science. 61, 397-413.

El-Jafari, S., 1993. Morphophological tools for cereals breeding for abiotic stresses resistance. Crop Science. 2, 256-263.

Farshadfar, E. Ghasemi, M., 2015. Evaluation of drought tolerance in bread wheat using water relations and integrated selection index. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. 6,77-84.

Farshadfar, E., 2012. Application of integrated selection index and rank sum for screening drought tolerant genotypes in bread wheat. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4, 325-332.

Farshadfar, E., 2018. Genetic improvement of environmental stresses. Vosuq Publishing. First Edition. 844.

Farshadfar, E., Sutka, J., 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agron. Hung. 50, 411– 416.

Farshadfar, E., Elyasi, P., 2012. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. European Journal of Experimental Biology. 3, 304-311.

Farshadfar, E., Jalali, S., Saeidi, M., 2012a. Introduction of a new selection index for improvement of drought tolerance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). European Journal of Experimental Biology. 2, 1181-1187.

Farshadfar, E., Saeidi, M., and Jalali-Honarmand, S., 2012b. Evaluation of drought tolerance screening techniques among some landraces of bread wheat genotypes. European Journal of Experimental Biology. 2, 1585-1592.

Farshadfar, E., Rostami-Ahmandvandi, H., Shabani, A., 2013. Evaluation of drought tolerance in wheat-rye disomic addition lines using agro-physiological indicators and a new integrated selection index (ISI). Annals of Biological Research. 4, 70-75.

Farshadfar, E., Amiri, R., 2018. Evaluation of drought resistance of different bread wheat lines using agrophysiological traits and Integrated Selection Index. Journal of Environmental Stress in Agricultural Sciences. 11, 79-91. [In Persian with English Summary].

Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of a Symposium. Taiwan. pp. 257-270.

Fisher, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research. 29, 897-912.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G., Ricciardi, G.L., Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter ceraeals. Canadian Journal of Plant Sciences. 77, 523-531.

Geravandi, M., Farshadfar, E., Kahrizi, D., 2011. Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. Russian Journal of Plant Physiology. 58, 69-75.

Hashemi Nasab, A., Abadi, H., 2011. Investigation of biochemical criteria of drought resistance in wheat cultivars and their relationship with yield. Master's Degree in Plant Breeding. Shiraz University. [In Persain].

Kamrani, M., Mehraban, A., Shiri, M., 2018. Identification of drought tolerant genotypes in dryland wheat using drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding. 10, 13-26. [In Persain].

Khakwani, A.A., Dennett, M.D., Munir, M., 2011. Drought tolerance screening of wheat varieties by inducing water stress conditions. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 33, 135-142.

Khodabandeh, N., 2008. Cereals. University of Tehran Publications. P. 4. [In Persain].

Lan, J., 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agriculturae. Boreali-occidentalis Sinica 7, 85–87.

Lin, C.S. Binns, M.R., Lefkovitch, L.P., 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop Sciences. 26, 894-900.

Mitra, J., 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. Current Sciences. 80, 758-763.

Mohamadi, R., Haghparast, R., Aghaei Sarbarzeh, M., Abd Ellahi, A.A.V., 2006. An evaluation of drought tolerance in advanced durum wheat genotypes based on physiologic characeristics and other related indices. Iranian Journal of Agricultural Sciences. 37, 563-567. [In Persian with English Summary].

Molla Heydari Bafagi, R., Baghizadeh, A., Mohammadinezhad, Gh., 2017. Evaluation of Salinity and Drought Stress Tolerance in Wheat Genotypes using Tolerance Indices. Journal of Crop Breeding. 9, 27-34. [In Persian with English Summary].

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

Naghavi, M.R., Moghaddam, M., Toorchi, M., Shakiba, M.R., 2016. Evaluation of spring wheat cultivars based on drought resistance indices. Journal of Crop Breeding. 8, 192-207. [In Persian with English Summary].

Najafi, A., Geravandi, M., 2011. Assessment of indices to indentify wheat genotypes adapted to irrigated and rain-fed environments. Advanced in Environmental Biology. 5, 3212-3218.

Noorifarjam, Sh., Farshadfar, E., Saeidi, M., 2013. Evaluation of drought tolerant genotypes in bread wheat using yield based screening techniques. European Journal of Experimental Biology. 3, 138-143.

Nouri, A., Etminan, A., Teixeira da Silva, J.A., Mohammadi, R., 2011. Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turjidum* var. durum Desf.). Australian Journal of Crop Science. 5, 8-16.

Pour-Aboughadareh, A., Omidi, M., Naghavi, M.R., Etminan, A., Mehrabi, A.A., 2020. Estimation of genetic parameters and heritability of photosynthetic-related traits in Aegilops tauschii accessions under water deficit stress. Journal of Modern Genetics. 14, 251-262.

Qajarspanlv, M., Siadat, H., Mir Latifi, S.Kh., 2000. Effect of limited irrigation at different growth stages on yield and water use efficiency and comparison of several indices of drought tolerance in wheat cultivars. Iranian Journal of Water and Soil. 12, 75-64 [In Persian with English Summary].

Ramirez Vallejo, P., Kelly, J.D., 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica. 99, 127 – 136.

Richard, A.J., Dean, W.W., 2002. Applied multivariate statistical analysis. Prenticee Hall, London. 265.

Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-stress Environments. Crop Sciences. 21: 943-946.

Sardoei-Nasab, S., Mohammadi-Nejad, Gh., Nakhoda, B., 2014. Field Screening of Salinity Tolerance in Iranian Bread Wheat Lines. Crop Science. 54, 1489–1496.

Schnider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta Gallegos, J.A., Ramirez-Allejo, P., Wassimi, N., Kelly, J.D., 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science. 37, 43-50.

Sepahvand, A., Jafari, A.A., 2014. Study of forage yield and quality in 14 native populations of bitter vetch (*Vicia ervilia*) in irrigated and dry conditions in Khoramabad, Iran. Journal of Pajouhesh and Sazandegi. 102, 20-30. [In Persian with English Summary].

Shibani rad, A., Farshadfar, E., 2017. Evaluation of drought stress in some bread wheat genotypes using drought tolerance indices. Journal of Plant Ecophysiology. 9, 1-14. [In Persian with English Summary].

Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crop Research. 98, 222- 229.

Talebi, R., Fayaz, F., Naji, A.M., 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). General and applied plant physiology. 35(1/2), 64-74.

Tarabideh, A.H., Farshadfar, M., Safari, H., 2013. Efficiency of screening techniques for evaluation corn (*Zea mays* L.) hybridsunder drought conditions. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 7, 107-114.