

## ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان برای تحمل به خشکی با استفاده از روش ترکیبی مناسب

آنیتا یاقوتی پور<sup>۱</sup>، عزت اله فرشادفر<sup>۲\*</sup>، محسن سعیدی<sup>۲</sup>

۱. دانش‌آموخته، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۲. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۲۴

### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی امکان کاربرد شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. در این پژوهش ۲۰ ژنوتیپ گندم نان در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند و از دوازده شاخص شامل حساسیت به تنش (SSI)، تحمل تنش (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HMP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل تنش تغییر یافته (MSTI)، شاخص مقاومت خشکی (DI)، شاخص پاسخ به خشکی (RDI) و هم‌چنین تکنیک شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل استفاده شد. با استفاده از این شاخص‌ها و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ژنوتیپ‌های ۱، ۱۲ و ۱۵ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب شدند. همچنین ژنوتیپ‌های مذکور با مقدار شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک به یک نیز جزء ژنوتیپ‌های متحمل بودند. ژنوتیپ ۴ نیز با مقدار شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک به صفر به‌عنوان ژنوتیپ حساس به خشکی شناخته شد. شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، تحمل تنش، میانگین هارمونیک و  $K_iSTI$  دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش بودند، بنابراین بر اساس نتایج این بررسی، شاخص‌های مذکور به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تنش، ژنوتیپ ایده‌آل، شاخص‌های تحمل، گندم.

### مقدمه

است، یکی از آن‌ها انتخاب بر اساس شاخص‌ها است. بر این اساس ژنوتیپ‌های مقاوم انتخاب می‌شوند. فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) با محاسبه شاخص شدت تنش<sup>۱</sup> (SSI) جهت تعیین میزان حساسیت ژنوتیپ‌ها به خشکی، شاخص حساسیت به خشکی را پیشنهاد کرده و اظهار داشتند که مقدار SSI کمتر از یک نشان‌دهنده مقاومت ژنوتیپ به خشکی است. شاخص تحمل به تنش (STI)<sup>۲</sup> توسط فرناندز (Fernandez, 1992) معرفی

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین غله بوده و بیشترین سطح زیرکشت را در بین گیاهان زراعی، به خود اختصاص داده است. این گیاه زراعی در نواحی خشک و نیمه‌خشک با تغییرات زیاد آب‌وهوای سالانه رشد می‌کند (Dange et al., 2006). یکی از راه‌کارهای اساسی غلبه بر مشکلات ناشی از تنش، انتخاب ارقام مقاوم و اصلاح ژنوتیپ‌های سازگار است (Briggle, 1987). بهترین راهکار برای تولید گیاه زراعی، بهبود عملکرد و پایداری عملکرد در شرایط خشکی است (Farshadfar et al., 2011). برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم چندین معیار پیشنهاد شده

1. Stress Susceptibility Index

2. Stress Tolerance Index

Hwang and ) که اولین بار توسط ونگ و یون ( Yoon, 1981) پیشنهاد شد، معرفی گردیده است. برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به خشکی با استفاده از سایر شاخص‌های تحمل به خشکی به کمک روش SIIG تمام شاخص‌ها و صفات به صورت یک شاخص درآمده و به همین جهت، رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر بسیار راحت‌تر می‌شود. بر اساس این تکنیک، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل و دورترین از ژنوتیپ غیر ایده‌آل است. ژنوتیپ ایده‌آل یعنی ژنوتیپی که بیشترین تحمل به تنش را داشته و ژنوتیپ غیر ایده‌آل بر این اساس ژنوتیپی است که بیشترین حساسیت به تنش را داراست. در روش SIIG می‌توان با توجه به نظر محقق از تمام شاخص‌ها به‌طور هم‌زمان برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب ژنوتیپ متحمل به خشکی استفاده نمود؛ بنابراین هدف از این مطالعه، تعیین تحمل به خشکی در تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم نان با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی و همچنین استفاده از تکنیک SIIG در این راستا بوده است.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در شرایط تنش و عدم تنش خشکی در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه اجرا شد. هر کرت شامل چهار خط دو متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متری و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بود. جهت سهولت بیشتر در ذکر اسامی ژنوتیپ‌های مختلف در قسمت نتایج و بحث، به‌صورت زیر شماره‌گذاری شدند. ژنوتیپ‌های موردبررسی به‌صورت دیم بودند (جدول ۱).

در شرایط تنش و بدون تنش اولین بارندگی به‌عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد و در شرایط تنش آبیاری انجام نشد و به‌صورت دیم بود. اما در شرایط عدم تنش آبیاری در سه تا چهار مرحله انجام شد. برای محاسبه عملکرد دانه، سنبله‌های دو ردیف یک‌ونیم متری از هر کرت برداشت شده و خرمن‌کوبی گردیدند و وزن دانه‌های به‌دست‌آمده محاسبه شد.

گردید و به نام شاخص تحمل به تنش معروف است. هر چه مقدار STI بیشتر باشد نشان‌دهنده تحمل بیشتر نسبت به خشکی است و عملکرد بالقوه بیشتر است. این شاخص قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی است. شاخص بهره‌وری متوسط (MP)<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۱ توسط رزیل و هامبلین (Rossielle and Hamblin, 1981) معرفی شد. ارقام متحمل‌تر دارای مقادیر بیشتر MP می‌باشند. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)<sup>۲</sup> توسط فرناندز (Fernandez, 1992) به همراه شاخص STI معرفی شد. این شاخص حساسیت کمتری به مقادیر بسیار متفاوت YP و YS دارد و بیشتر بودن آن نشانه تحمل بیشتر به تنش است. همچنین شاخص میانگین هارمونیک (HARM) توسط فرناندز (Fernandez, 1992) و شاخص تحمل نیز توسط رزیل و هامبلین (Rossielle and Hamblin, 1981) توصیه گردید. ژنوتیپ‌های گزینش‌شده بر اساس شاخص TOL در شرایط بدون تنش، عملکرد کم و در شرایط تنش، عملکرد نسبتاً زیادی دارند. شاخص مقاومت به خشکی (DI)<sup>۳</sup> توسط فرناندز (Fernandez, 1992) برای تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و عدم تنش به کار برده شد. شاخص عملکرد (YI)<sup>۴</sup> برای انتخاب ارقام گروه A مناسب نیست و تحت شرایط تنش با عملکرد ارقام همبستگی دارد (Gavuzzi et al., 1997). شاخص تحمل تنش تغییریافته (MSTI)<sup>۵</sup> توسط فرشادفر و شوتکا (Farshadfar and Sutka, 2002) معرفی شد. فیشر (Fischer et al., 1979) شاخص دیگری با عنوان شاخص پاسخ به خشکی (RDI)<sup>۶</sup> را معرفی کردند. برای انتخاب ارقام مقاوم یا حساس به خشکی به کار بردن یک شاخص به‌تنهایی مطلوب نیست بلکه بهتر است مقاومت ژنوتیپ‌ها با استفاده از چند شاخص ارزیابی گردد تا احتمال پیدا نمودن ژنوتیپ‌های ایده‌آل افزایش یابد. به همین دلیل در این مطالعه تکنیک جدیدی به نام تکنیک شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)<sup>۷</sup> که برگرفته از مدل

1. Mean Productivity

2. Geometric Mean Productivity

3. Drought Resistance Index

4. Yield Index

5. Modified Stress Tolerance Index

6. Relative Drought Index

7. Selection index of ideal genotype

8. Technique of order preference by similarity to ideal solution

میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HMP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل تنش تغییر یافته (MSTI)، شاخص مقاومت خشکی (DI)، شاخص پاسخ به خشکی (RDI) استفاده شد.

### محاسبه شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی

جهت بررسی ارقام مورد مطالعه از نظر میزان حساسیت و مقاومت به تنش خشکی از شاخص‌های مختلف شامل شاخص حساسیت به تنش (SSI)، تحمل تنش (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص تحمل تنش (STI)،

جدول ۱. نام ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این بررسی.

Table 1. Genotype names in this research.

شماره ژنوتیپ Code	نام ژنوتیپ Name	شماره ژنوتیپ Code	نام ژنوتیپ Name
1	Geravandi-17	11	WC-47359
2	WC-47536	12	WC-47403
3	WC-4919	13	WC-47388
4	WC-4868	14	WC-4611
5	WC-5046	15	WC-4515
6	WC-4995	16	Pishtaz پیشتاز
7	Pishgam پیشگام	17	Moghan-3
8	WC-4536	18	WC-47472
9	Pishgam پیشگام	19	WC-4968
10	WC-47582	20	WC-47528

یکی آن که واحدی که برای اندازه‌گیری صفات انتخاب می‌شود شباهت‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و لذا به وسیله استاندارد کردن این اثر از بین می‌رود و دیگر آن که استاندارد کردن سبب می‌شود که شباهت بین شاخص‌ها به‌طور یکسان اندازه‌گیری شود.  
از رابطه ذیل برای بی‌مقیاس کردن داده‌ها استفاده می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m. \quad [2]$$

در بسیاری از مطالعات، محقق در بررسی صفات با واحدهای مختلفی سروکار دارد. در این مرحله سعی می‌شود معیارهای با مقیاس مختلف به معیارهای بدون مقیاس تبدیل شوند و ماتریس  $R$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

### مراحل محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

اگر در یک تحقیق فرض شود که  $n$  ژنوتیپ و  $m$  صفت یا شاخص وجود دارد، مراحل انتخاب بهترین ژنوتیپ با استفاده از روش SIIG، به شرح ذیل می‌باشد: (۱) تشکیل ماتریس داده‌ها: که با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و تعداد شاخص‌ها یا صفات مختلف مورد بررسی، ماتریس داده‌ها را به صورت زیر تشکیل می‌شود. به طوری که ژنوتیپ‌ها در ردیف و شاخص‌ها در ستون ماتریس قرار می‌گیرند.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad [1]$$

در این ماتریس  $x_{ij}$  مقدار ژنوتیپ  $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) در رابطه با شاخص (صفت)  $j$ ام ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) می‌باشد.  
(۲) استاندارد کردن ماتریس داده‌های خام (بی مقیاس کردن داده‌ها): هدف از استاندارد کردن داده‌ها دو چیز است:

مقدار SIIG بین صفر و یک تغییر می‌کند و هر چه مقدار SIIG به یک نزدیک‌تر باشد، ژنوتیپ ایده‌آل‌تر خواهد بود. کاملاً واضح است که اگر  $G_i = G^+$  باشد، آنگاه  $d_i^+$  مساوی صفر و SIIG آن مساوی یک خواهد بود و در صورتی که  $G_i = G^-$  باشد، آنگاه  $d_i^-$  مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی صفر خواهد بود. لذا، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس مقدار SIIG خواهد بود. بدین ترتیب، ژنوتیپی که دارای بیش‌ترین مقدار SIIG است، دارای رتبه اول و ژنوتیپی که دارای کم‌ترین مقدار SIIG است حائز رتبه آخر خواهد بود. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای SAS، SPSS و EXCEL استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### انتخاب ارقام مقاوم به تنش خشکی بر اساس شاخص-

#### های مقاومت به خشکی

استفاده از شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی باعث انتخاب ارقام مقاوم بر اساس صفات اندازه‌گیری شده در هر دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی می‌گردد. شاخص‌های مختلف مقاومت به خشکی محاسبه گردید و نتایج حاصل از آن در جدول شماره ۲ آمده است. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، بیشترین متوسط عملکرد دانه در شرایط تنش مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱ و ۱۵ و کمترین متوسط عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ‌های ۴ و ۸ می‌باشد. در شرایط عدم تنش ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۲ و ۱۹ بیشترین متوسط عملکرد دانه را داشتند و کمترین متوسط عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۶، ۱۱ و ۱۴ می‌باشد. با توجه به اینکه هر چه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش کوچک‌تر باشند تحمل خشکی ژنوتیپ‌ها بیشتر است لذا بر اساس این شاخص‌ها به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۶ انتخاب شدند. روسیل و هاملین (Rossielle and Hamblin, 1981) پیشنهاد نمودند که هر چه شاخص تحمل کوچک‌تر باشد حساسیت به خشکی ژنوتیپ کمتر و مطلوب‌تر است.

بر اساس شاخص‌های تحمل تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص عملکرد و شاخص پایداری عملکرد، هارمونیک، شاخص مقاومت خشکی، شاخص پاسخ به خشکی، K1STI، ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰ و ۲۰ بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند و از نظر این شاخص‌ها جزء ژنوتیپ‌های متحمل محسوب می‌شوند. بر

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad [3]$$

(۳) پیدا کردن ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل برای هر صفت (شاخص): اگر ژنوتیپ‌های ایده‌آل با  $G^+$  و ژنوتیپ غیر ایده‌آل با  $G^-$  نشان داده شود، در این صورت:

$$\begin{aligned} G^+ &= \{r_1^+, r_2^+, \dots, r_m^+\} \\ G^- &= \{r_1^-, r_2^-, \dots, r_m^-\} \end{aligned} \quad [4]$$

که در آن  $r_j^+$  بهترین مقدار شاخص (صفت)  $j$  از بین تمام ژنوتیپ‌ها و  $r_j^-$  بدترین مقدار شاخص (صفت)  $j$  از بین تمام ژنوتیپ‌ها است. گزینه‌هایی که در  $r_j^+$  و  $r_j^-$  قرار می‌گیرند، به ترتیب نشان‌دهنده ژنوتیپ‌های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

(۴) محاسبه انحراف از ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ژنوتیپ‌های غیرایده‌آل: در این مرحله برای هر شاخص (صفت)، فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل و فاصله از ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل مربوط به آن شاخص (صفت) به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned} d_i^+ &= \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad i = 1, \dots, n \\ d_i^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad [5]$$

در روابط فوق اندیس‌های  $i$  و  $j$  به ترتیب معرف ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها می‌باشند.

#### محاسبه آماره شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

در آخرین مرحله، آماره شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad 0 \leq SIIG \leq 1 \quad [6]$$

داشت. این شاخص ژنوتیپ‌ها را فقط بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند و نمی‌تواند ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط را شناسایی کند همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش با شاخص پایداری عملکرد مثبت و معنی‌دار بود؛ بنابراین این شاخص، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و با عملکرد ضعیف در شرایط بدون تنش را انتخاب می‌کند و نمی‌تواند ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را شناسایی نماید. این مطالب با نتایج سی‌وسه مرده (Sio-se Mardeh, 2006) مطابقت دارد. همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش با شاخص حساسیت به تنش منفی و معنی‌دار بود.

در شرایط بدون تنش شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش با عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. از آنجایی که ژنوتیپ‌های با مقادیر کوچک‌تر شاخص‌های حساسیت به تنش و تحمل به‌عنوان ژنوتیپ‌های تحمل‌کننده شناخته می‌شوند، انتخاب بر اساس این شاخص‌ها باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی در محیط تنش داشته ولی عملکرد آن‌ها در محیط بدون تنش کم است. شاخص‌های مقاومت خشکی و پاسخ به خشکی با عملکرد دانه در شرایط تنش همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان دادند. شاخص پاسخ به خشکی عملکرد دانه را تحت شرایط تنش خشکی برای تنوع در تاریخ گلدهی و عملکرد در شرایط بدون تنش تصحیح می‌کند بنابراین اطمینان می‌دهد که ژنوتیپ‌های انتخاب‌شده صفات تحمل خشکی را خواهند داشت. این شاخص‌ها در گیاهان مختلفی مانند گندم، برنج و نخود مورد استفاده قرار گرفته است.

#### بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های مقاومت به خشکی

به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و ارزیابی میزان تنوع و پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های مقاومت به خشکی از نمودار بای‌پلات بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) با استفاده از داده‌های حاصل از بیست ژنوتیپ و شاخص‌های مقاومت به خشکی، سهم مؤلفه‌ها و سهم تجمعی آن‌ها محاسبه شد و نتایج حاصل از آن در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

اساس روش‌های به‌کاررفته از این بررسی هرگاه ژنوتیپی دارای شاخص‌های تحمل تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک، شاخص مقاومت خشکی، شاخص پاسخ به خشکی،  $K_1STI$ ،  $K_2STI$  بیشتری بوده و از مقادیر تحمل و حساسیت به تنش کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار باشد تحمل بهتری نسبت به شرایط تنش خواهد داشت. از آنجایی که انتخاب بر اساس شاخص‌های تحمل تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک، شاخص مقاومت خشکی، شاخص پاسخ به خشکی،  $K_1STI$ ،  $K_2STI$  نتایج مشابهی داشت به‌منظور حصول اطمینان از عملکرد در شرایط تنش از بین ژنوتیپ‌های انتخاب‌شده، آن‌هایی که بیشترین مقادیر عملکرد در شرایط تنش را داشتند، انتخاب شدند. بر این اساس از بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۲ و ۱ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب شدند (Moosavi et al., 2008).

#### انتخاب شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی

با توجه به اینکه شاخص‌های برآورد مقاومت به تنش متنوع می‌باشد، تعیین این شاخص‌ها مانند مرحله قبل، بر اساس همبستگی آن‌ها با عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی بود. شاخص‌هایی که بیشترین همبستگی را با عملکرد داشته و در فرمول آن‌ها استفاده از صفات هر دو شرایط دخیل بودند، انتخاب گردیدند. همبستگی شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی با عملکرد در شرایط با و بدون تنش خشکی در جدول ۳ آمده است.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود شاخص‌های میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، تحمل تنش، میانگین هارمونیک و  $K_1STI$  دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش بودند بنابراین شاخص‌های مذکور بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر هستند. نتایج مذکور با نتایج سردویی نصب (Farshadfar et al., 2014)، (Sardouie et al., 2014)، مفاخری (Mafakheri et al., 2010)، نوری (Nouri et al., 2011) و سی‌وسه مرده (Sio-se Mardeh, 2006) مطابقت داشت. شاخص عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش

جدول ۲. میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش خشکی و مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه.

Table 2. Mean of grain yield in control and drought stress conditions and also drought tolerance indices in different wheat genotypes.

ژنوتیپ	عملکرد پتانسیل	عملکرد در محیط تنش	شاخص حساسیت به تنش	شاخص تحمل	میانگین بهره‌وری متوسط	میانگین هندسی بهره‌وری	شاخص تحمل تنش
Genotype	YP (kg/ha)	Y <sub>s</sub> (kg/ha)	SSI	TOL (kg/ha)	MP (kg/ha)	GMP (kg/ha)	STI
1	732.9	319.2	0.92	413.7	526.1	483.7	0.540
2	614.1	206.6	1.08	407.4	410.4	356.2	0.293
3	734.5	216.0	1.15	518.5	475.3	398.4	0.366
4	602.9	167.4	1.17	435.4	385.1	317.7	0.233
5	615.5	289.7	0.86	325.9	452.6	422.3	0.412
6	443.1	225.8	0.80	217.3	334.5	316.3	0.231
7	711.4	253.3	1.05	458.0	482.4	424.5	0.416
8	588.4	175.3	1.14	413.1	381.9	321.2	0.238
9	666.7	290.1	0.92	376.7	478.4	439.8	0.447
10	663.4	206.0	1.12	457.4	434.7	369.7	0.316
11	449.9	202.2	0.89	247.7	326.1	301.6	0.210
12	815.4	442.7	0.74	372.7	629.1	600.8	0.833
13	726.9	247.3	1.07	479.6	487.1	423.9	0.415
14	502.6	215.1	0.93	287.5	358.8	328.8	0.250
15	669.1	308.0	0.88	361.1	488.6	454.0	0.476
16	822.1	267.5	1.10	554.6	544.8	468.9	0.508
17	737.8	269.8	1.03	468.0	503.8	446.1	0.460
18	688.9	278.2	0.97	410.8	483.5	437.8	0.442
19	757.1	254.2	1.08	502.9	505.6	438.7	0.444
20	619.4	225.7	1.03	393.7	422.6	373.9	0.323

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued

ژنوتیپ	شاخص عملکرد	شاخص پایداری عملکرد	میانگین هارمونیک	شاخص مقاومت خشکی	شاخص پاسخ به خشکی	شاخص تحمل تنش تغییر یافته	شاخص تحمل تنش تغییر یافته
Genotype	YI	YSI	HAM (kg/ha)	DI	RDI	K <sub>1</sub> STI	K <sub>2</sub> STI
1	1.262	0.436	444.72	0.550	1.13	0.670	0.860
2	0.817	0.337	309.22	0.275	0.88	0.255	0.195
3	0.854	0.294	333.89	0.251	0.77	0.456	0.267
4	0.662	0.278	262.05	0.184	0.72	0.196	0.102
5	1.145	0.471	393.95	0.539	1.22	0.360	0.540
6	0.892	0.510	299.16	0.455	1.33	0.105	0.184
7	1.001	0.356	373.63	0.357	0.93	0.486	0.417
8	0.693	0.298	270.13	0.206	0.77	0.190	0.114
9	1.147	0.435	404.29	0.499	1.13	0.458	0.587
10	0.814	0.311	314.38	0.253	0.81	0.321	0.209
11	0.799	0.449	279.04	0.359	1.17	0.098	0.134
12	1.750	0.543	573.87	0.950	1.41	1.279	2.552
13	0.977	0.340	368.99	0.332	0.88	0.506	0.396
14	0.850	0.428	301.23	0.364	1.11	0.146	0.180
15	1.217	0.460	421.84	0.560	1.20	0.492	0.705
16	1.057	0.325	403.61	0.344	0.85	0.792	0.567
17	1.066	0.366	395.09	0.390	0.95	0.578	0.523
18	1.099	0.404	396.31	0.444	1.05	0.485	0.535
19	1.005	0.336	380.59	0.337	0.87	0.588	0.448
20	0.892	0.364	330.86	0.325	0.95	0.286	0.257

جدول ۳- ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم.

Table 3. Correlation coefficients among drought tolerance.

	YP	Ys	SSI	TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI	HAM	DI	RDI	K <sub>1</sub> STI	K <sub>2</sub> STI
Ys	0.570**													
SSI	0.222	-0.665**												
TOL	0.817**	-0.008	0.737**											
MP	0.942**	0.813**	-0.115	0.575**										
GMP	0.836**	0.927**	-0.344	0.367	0.972**									
STI	0.797**	0.946**	-0.394	0.306	0.952**	0.993**								
YI	0.570**	1.000**	-0.664**	-0.007	0.814**	0.927**	0.946**							
YSI	-0.217	0.667**	-1.000**	-0.733**	0.120	0.348	0.397	0.667**						
HAM	0.714**	0.982**	-0.517*	0.180	0.908**	0.981**	0.985**	0.982**	0.520*					
DI	0.281	0.945**	-0.854**	-0.322	0.586**	0.757**	0.801**	0.945**	0.854**	0.865**				
RDI	-0.218	0.665**	-0.999**	-0.733**	0.118	0.346	0.395	0.665**	1.000**	0.518*	0.853**			
K <sub>1</sub> STI	0.859**	0.865**	-0.246	0.439	0.963**	0.965**	0.976**	0.865**	0.248	0.927**	0.691**	0.246		
K <sub>2</sub> STI	0.554*	0.933**	-0.568**	0.020	0.775**	0.867**	0.920**	0.933**	0.567**	0.909**	0.900**	0.564**	0.886**	

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

عملکرد در شرایط غیر تنش=YP، عملکرد در شرایط غیر تنش=Ys، شاخص حساسیت به تنش=SSI، شاخص تحمل=TOL، شاخص بهره‌وری متوسط=MP، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری=GMP، شاخص تحمل=STI، شاخص عملکرد=YI، شاخص پایداری عملکرد=YSI، شاخص میانگین هارمونیک=HAM، شاخص مقاومت خشکی=DI، شاخص پاسخ به تنش=RDI، شاخص تحمل تسهیل‌یافته=K<sub>1</sub>STI، K<sub>2</sub>STI.

YP and YS= grain yield in control and drought stress conditions, stress susceptibility index (SSI), tolerance index (TOL), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), stress tolerance index (STI), yield index (YI), yield stability index (YSI), Harmonic mean (HAM), drought resistance index (DI), relative drought index (RDI), modified stress tolerance index (MSTI).

شرایط بدون تنش تمایل داشتند و این بیانگر این است که مقادیر بالا برای شاخص تحمل خشکی در این ژنوتیپ بیشتر به علت عملکرد بالای آن در شرایط بدون تنش بوده است. ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۷، ۱۰ و ۱۳ در مجاورت شاخص‌های حساسیت به تنش و تحمل قرار گرفتند؛ بنابراین این ژنوتیپ‌ها حساس به خشکی بوده و دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های آبی هستند. زاویه حاده بین شاخص‌های تحمل به تنش میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک دلالت بر وجود همبستگی بالا بین این شاخص‌ها است. همچنین این شاخص‌ها دارای همبستگی مثبت با عملکرد در هر دو محیط تنش و عدم تنش بودند. وجود همبستگی بالا بین دو شاخص حساسیت به تنش و تحمل با یکدیگر و نیز همبستگی منفی و بالای این شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی مثبت و بالای آن‌ها با عملکرد در شرایط بدون تنش در نمودار بای‌پلات مشهود بود.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، ۹۸.۴ درصد کل تغییرات داده‌ها توسط دو مؤلفه اصلی اول (PC<sub>1</sub>) و PC<sub>2</sub> بیان شد. اولین مؤلفه اصلی ۶۳.۵۲ و دومین مؤلفه اصلی ۳۴.۸۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد. از آنجایی که مؤلفه اول تغییراتی را در برمی‌گیرد که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس، از این جهت دو مؤلفه را می‌توان به صورت دو محور عمود برهم نمایش داد و ژنوتیپ‌ها را بر اساس این دو مؤلفه در سطح بای‌پلات مشخص نمود. لذا بر اساس دو مؤلفه اول بای‌پلات ترسیم شد (شکل ۱) در بای‌پلات ترسیم‌شده بر مبنای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (شکل ۱) ژنوتیپ‌ها در درون گروه‌هایی قرار گرفته که با میانگین عملکرد و تحمل به تنش مرتبط هستند. نمودار بای‌پلات (شکل ۱) نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۵، ۹، ۱۲، ۱۷ و ۱۸ در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم مقاومت به خشکی (تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک) قرار گرفتند. ژنوتیپ ۱۷ به بردار مربوط به عملکرد در

## شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

به‌منظور شناسایی بهتر ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی، محققان سعی می‌کنند از روش‌های مختلف استفاده کنند و در این تحقیق با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، از شاخص‌های مختلف به‌طور هم‌زمان برای بررسی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها استفاده شد. در جدول ۵ مقدار SIIG و فواصل از ژنوتیپ‌های ایده‌آل و غیرایده‌آل آورده شده است. با توجه به اینکه مقدار شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل، بین صفر و یک است و ژنوتیپ‌هایی که مقدار آن نزدیک به یک باشد و جزء برترین ژنوتیپ‌ها معرفی می‌شوند و ژنوتیپ‌هایی که مقدار SIIG آن نزدیک به صفر باشد، جزء ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود (جدول ۵) ژنوتیپ شماره ۱۲ کم‌ترین فاصله ژنوتیپ ایده‌آل ( $d^+=0.11$ ) را نسبت به سایر ارقام دارد و فاصله آن از ژنوتیپ غیره ایده‌آل ( $d^-=0.3$ ) بود. بر همین اساس، ژنوتیپ شماره ۱۲ با  $SIIG = 0.72$  (نزدیک

به یک)، متحمل‌ترین ژنوتیپ معرفی شد و از طرفی ژنوتیپ شماره ۴ بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل ( $d^+=1.16$ ) را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارد؛ بنابراین ژنوتیپ شماره چهار با  $SIIG=0.4$  جزو حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شد. همچنین ژنوتیپ‌های ۱ و ۱۵ با مقادیر  $d^+$  ۰.۶۹ و ۰.۷۷ و  $SIIG=0.5$ ، بعد از ژنوتیپ شماره ۱۲ متحمل‌ترین ژنوتیپ بودند. باید توجه داشت که ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی است که تحمل به خشکی آن بالا و ژنوتیپ غیرایده‌آل تحمل به خشکی آن کم باشد. در این روش می‌توان به‌طور نامحدود از تمام روش‌ها بر اساس نظر محقق استفاده نمود. در واقع شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل یک روش انتخاب هم‌زمان می‌باشد که کارایی گزینش را افزایش می‌دهد. زالی (Zali et al., 2015) از شاخص SIIG برای اولین بار برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های کلزا استفاده کردند و برای آماره‌های پارامتری و ناپارامتری شاخص SIIG را محاسبه کردند و بر مبنای آن ژنوتیپ پایدار مشخص گردید.

جدول ۴. مقادیر و بردارهای ویژه شاخص‌های مقاومت به خشکی.

Table 4. Eigen value and Eigen vector from principal components for drought tolerate indices.

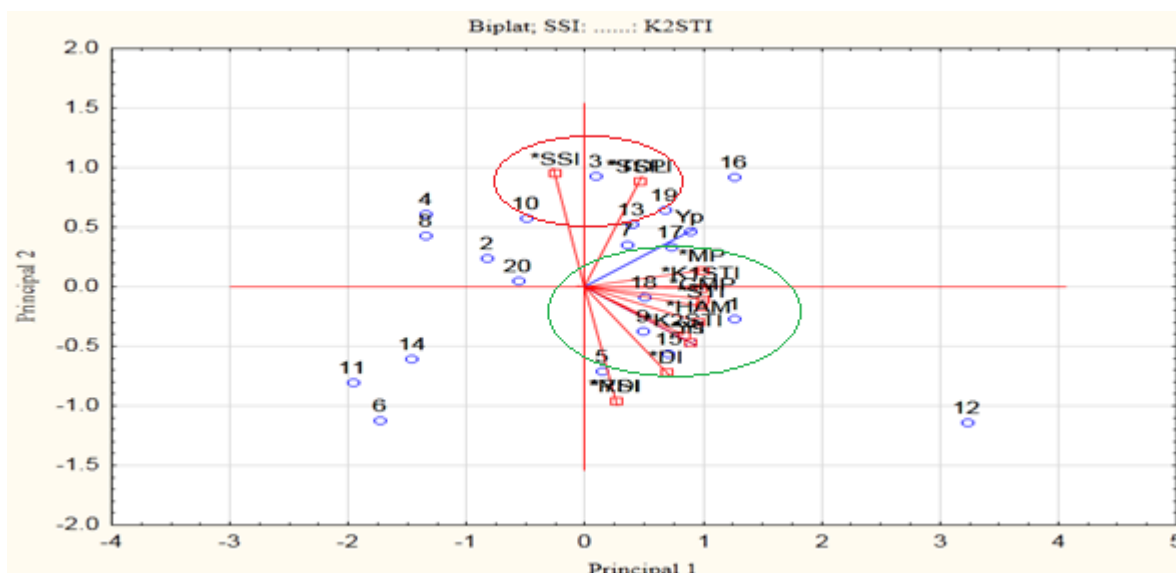
PCA	Sum	Percent Variance	Cumulative Percent Variance	Sum	Percent Variance	Cumulative Percent Variance
مؤلفه	مجموع	واریانس (%)	واریانس تجمعی (%)	مجموع	واریانس (%)	واریانس تجمعی (%)
1	8.258	63.521	63.521	8.258	63.521	63.521
2	4.536	34.891	98.412	4.536	34.891	98.412
3	0.168	1.291	99.703			
4	0.033	0.257	99.959			
5	0.004	0.033	99.992			
6	0.001	0.005	99.997			
7	0.000	0.003	99.999			
8	$5.701 \times 10^{-5}$	0.000	100.000			
9	$2.369 \times 10^{-5}$	0.000	100.000			
10	$1.950 \times 10^{-6}$	$1.500 \times 10^{-5}$	100.000			
11	$1.297 \times 10^{-6}$	$9.979 \times 10^{-6}$	100.000			
12	$1.467 \times 10^{-7}$	$1.128 \times 10^{-6}$	100.000			
13	$4.705 \times 10^{-8}$	$3.619 \times 10^{-7}$	100.000			



جدول ۵. مقادیر شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) و فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل ( $d^+$ ) و فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل ( $d^-$ ) و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها.

Table 5. Selection index of ideal genotype, distance of ideal genotype ( $d^+$ ), distance of no ideal genotype ( $d^-$ ) and ranking of genotypes.

ژنوتیپ‌ها Genotypes	$d^+$ (فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل) Distance from ideal genotype	$d^-$ (فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل) Distance from non-ideal genotype	SIIG	رتبه Rank
1	0.69	0.70	0.501	5
2	1.07	1.04	0.493	11
3	1.02	0.98	0.489	19
4	1.16	1.12	0.491	16
5	0.85	0.86	0.503	3
6	1.06	1.08	0.502	4
7	0.92	0.90	0.493	12
8	1.14	1.11	0.492	14
9	0.83	0.83	0.500	6
10	1.06	1.03	0.491	15
11	1.11	1.11	0.499	7
12	0.11	0.31	0.727	1
13	0.94	0.90	0.491	17
14	1.07	1.07	0.499	8
15	0.77	0.78	0.503	2
16	0.85	0.81	0.487	20
17	0.86	0.84	0.493	13
18	0.85	0.84	0.497	9
19	0.91	0.87	0.490	18
20	1.02	1.005	0.495	10



شکل ۱. رسم گرافیکی بای پلات شاخص‌های تحمل خشکی و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس دو مؤلفه اول و دوم.

Fig. 1. Biplot analysis demonstration of drought tolerance indices of 20 wheat genotypes based on first and second principle component.

خشکی، پارامترهای تجزیه پایداری یا صفات مختلف، در سایر گیاهان استفاده کنند؛ به عبارت دیگر با استفاده از روش SIIG می‌توان شاخص‌های تحمل به خشکی، پارامترهای مختلف تجزیه پایداری یا صفات مختلف را به صورت یک شاخص واحد درآورد و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مطمئن‌تر و دقیق‌تر انجام داد.

## نتیجه‌گیری

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) یک مدل گزینشگر بوده و به منظور انتخاب مناسب‌ترین ژنوتیپ از بین ژنوتیپ‌های موجود در محیط‌های مختلف به کار می‌رود. محققان می‌توانند از شاخص SIIG، به منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از سایر شاخص‌های تحمل به

## منابع

- Briggle, L.W., Curtis, B.C., 1987. Wheat and wheat Improvement. *Agronomy Journal*. 13, 4-13.
- Deng, X.P., Shan, L., Kang, S.Z., Inanaga, S., Mohanmed, E.K., 2006. Improvement of wheat water use efficiency in semiarid area of China. *Agricultural Science. China*. 2, 35-44.
- Farshadfar, E., Sutka, J., 2002. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Research*. 31, 33-39.
- Farshadfar, E., Mahmodi, N., Yaghotipoor, A., 2011. AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Crop Science*. 5(13), 1837-1844.
- Farshadfar, E., Ghasemi, M., Rafii, F., 2014. Evaluation of physiological parameters as a screening technique for drought tolerance in bread wheat. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 4(3), 175-186.
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*. AVRDC Publication, Tainan, Taiwan. pp. 257-270.
- Fischer, R. A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: 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 cereals. *Canadian Journal of Plant Science* 77, 523- 531.
- Hwang, C.L., Yoon, K., 1981. *Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications*, Springer, Berlin Heidelberg.
- 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.
- Nouri, A., Etminan, A.R., Teixeira da Silva, J., 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(1), 8-16.
- Rossielle, A., Hamblin, A. J., 1981. Theoretical aspects of selection for stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21, 1441- 1446.
- Sardouie-Nasab, S., Mohammadi-Nejad, Gh., Nakhoda, B., 2014. Field Screening of Salinity Tolerance in Iranian Bread Wheat Lines. *Crop Science*. 54, 1489-1496.
- 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.
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T, Asghari, A., 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.