

ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum durum* L.)سید احسان سنگی<sup>۱</sup>، عبدالله نجفی<sup>۲\*</sup>، کیانوش جق‌امیرزا<sup>۳</sup>، رضا محمدی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۳. دانشیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۰۶

## چکیده

تنش خشکی یکی از مخرب‌ترین تنش‌های محیطی است که باعث کاهش بهره‌وری گندم در بسیاری از نقاط جهان می‌شود. به منظور بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی، ۲۳ ژنوتیپ گندم دوروم با منشأ ایرانی و خارجی (ایکارد) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط تنش کمبود آب آخر فصل (دیم) و بدون تنش (آبیاری تکمیلی) در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در فصل زراعی ۹۵-۱۳۹۴ مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین محیط‌ها (آبی و دیم) و ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بود. مقایسات گروهی نشان داد که از نظر عملکرد در هر دو شرایط بین ژنوتیپ‌های ایرانی (مقایسه ۱)، اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین بین ژنوتیپ‌های خارجی (مقایسه ۲) و بین ژنوتیپ‌های ایرانی و خارجی (مقایسه ۳) تفاوت معنی‌دار دیده شد. هشت شاخص کمی تحمل به خشکی شامل شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) و میانگین هارمونیک (HAM) بر اساس عملکرد در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) محاسبه گردید. همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار Ys و Yp با شاخص‌های STI، GMP، MP و YI، HAM نشان داد که این موارد مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی هستند. با انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از این شاخص‌ها، مؤلفه اول ۷۱ درصد و مؤلفه دوم ۲۸ درصد از کل تغییرات را توجیه کرد. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها را به سه گروه تقسیم کرد. بر مبنای کل تجزیه‌های انجام‌شده، ژنوتیپ ۱۸ به‌عنوان ژنوتیپ برتر گندم دوروم در هر دو شرایط تنش و بدون تنش شناسایی شد که تحمل بالایی به تنش خشکی دارد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های تحمل به خشکی، گندم دوروم، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، مقایسه‌های گروهی

## مقدمه

ده درصد از مناطق زیر کشت گندم جهان را گندم دوروم تشکیل می‌دهد. علی‌رغم سطح زیر کشت کم، گندم دوروم به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد و محصولات نهایی یک محصول مهم اقتصادی است (Kamrani et al., 2016). بارندگی مهم‌ترین عامل برای تولید محصولات کشاورزی است. در حالی که خشک‌سالی محدودیت مهمی در تولید محصول است. در ایران، گندم در مناطقی با مقادیر و پراکنش بارش متفاوت تولید می‌شود. تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه رخ می‌دهد، هنگامی که تبخیر و تعرق به دلیل دمای هوای بیشتر، بالا است (Mohammadi and Abdulahi, 2017). گندم دوروم یکی از رایج‌ترین محصولات کشت‌شده در شرایط دیم در محیط‌های مدیترانه‌ای است که تنش آبی و دمای بالا مهم‌ترین محدودیت‌های بهره‌وری هستند. اگرچه این شرایط فرصت تولید دوروم با کیفیت بالا را فراهم می‌کند (Kamrani et al., 2016). تنش خشکی یکی از مخرب‌ترین تنش‌های محیطی است که باعث کاهش بهره‌وری گندم در بسیاری از

ده درصد از مناطق زیر کشت گندم جهان را گندم دوروم تشکیل می‌دهد. علی‌رغم سطح زیر کشت کم، گندم دوروم به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد و محصولات نهایی یک محصول مهم اقتصادی است (Kamrani et al., 2016). بارندگی مهم‌ترین عامل برای تولید محصولات کشاورزی است. در حالی که خشک‌سالی محدودیت مهمی در تولید محصول است. در ایران، گندم در مناطقی با مقادیر و پراکنش بارش متفاوت تولید می‌شود. تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه

هندسی بهره‌وری<sup>۵</sup> (GMP) است که در قیاس با شاخص میانگین بهره‌وری به‌منظور تفکیک ژنوتیپ‌ها قدرت بیشتری دارد (Fernandez, 1992). شاخص عملکرد<sup>۶</sup> (YI)، رتبه-دهی را تنها بر پایه عملکرد حالت تنش انجام می‌دهد؛ بنابراین قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در هر دو حالت تنش و غیر تنش عملکرد بالایی دارند، نیست (Sio-Se Mardeh et al., 2006). شاخص پایداری عملکرد<sup>۷</sup> (YSI) توسط بوسلاما و شاپاق (Bousslama and Schapaugh, 1984) پیشنهاد شد. این پارامتر برای یک ژنوتیپ با استفاده از عملکرد دانه تحت تنش نسبت به عملکرد دانه آن در شرایط بدون تنش محاسبه می‌شود. پیش‌بینی می‌شود ژنوتیپ‌های دارای YSI بالا عملکرد دانه بالایی تحت تنش و عملکرد دانه پایینی تحت شرایط بدون تنش داشته باشند (Mohammadi et al., 2010). همچنین ژنوتیپ‌هایی با مقادیر بالای میانگین هارمونیک<sup>۸</sup> (HAM) مطلوب هستند (Schneider et al., 1997). کامرانی و همکاران (Kamrani et al., 2016) در مطالعه ۵۰ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط تنش خشکی و بدون تنش بیان کردند که شاخص‌های GMP، MP و STI قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم هستند. امیری و همکاران (Amiri et al., 2014) با بررسی ۸۰ ژنوتیپ گندم نان گزارش نمودند که شاخص‌های STI، GMP، MP، YI و HAM مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی هستند. انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی یکی از اصلی‌ترین وظایف به‌نژادگران به‌منظور شناسایی، بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی و آزادسازی ارقام مقاوم به تنش است (Clarke et al., 1984).

این تحقیق بخشی از یک پروژه جامع بوده و برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گندم دوروم با استفاده از شاخص‌های مختلف، به‌منظور معرفی ژنوتیپ‌های مناسب برای مراحل بعدی انجام شده است.

### مواد و روش‌ها

۲۳ ژنوتیپ گندم دوروم پاییزه از معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور تهیه گردید (جدول ۱).

نقاط جهان می‌شود. اصلاح برای مقاومت به خشکی به‌منظور تولید پایدار گندم در این مناطق بسیار مهم است (Li et al., 2011). تنوع ژنتیکی میان ژنوتیپ‌ها برای اصلاح نباتات یکی از ارکان بسیار مهم است. درک واکنش‌های گیاهان به خشکی ارزشمند است و یک بخش اصلی در توسعه ارقام مقاوم به تنش است. به نظر می‌رسد عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در تنش خشکی و شرایط بهینه یک نکته ضروری و مقدماتی در شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب برای شرایط دیم غیرقابل‌پیش‌بینی باشد (Amiri et al., 2014). برخی پژوهشگران به انتخاب در شرایط مطلوب معتقد هستند (Betran et al., 2003)، گروهی به انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش اعتقاد دارند (Rathjen, 1994) و برخی از محققان روش میانی را ترجیح می‌دهند و به انتخاب در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باور دارند (Byrne et al., 1995). مطالعه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کار اصلی به‌نژادگران برای بهبود بهره‌وری عملکرد و مقاومت به خشکی است (Mohammadi and Abdulahi, 2017). برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، چندین شاخص انتخاب در شرایط مختلف به کار گرفته شده‌اند. شاخص تحمل<sup>۱</sup> (TOL) به‌عنوان اختلاف عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش و شاخص میانگین بهره‌وری<sup>۲</sup> (MP) به‌عنوان میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش تعریف شده است (Rosielle and Hamblin, 1981). شاخص حساسیت به تنش<sup>۳</sup> (SSI) برای اندازه‌گیری پایداری عملکرد پیشنهاد شده است که میزان SSI کمتر از یک بیانگر تحمل به خشکی است. در این شاخص هر چه میزان عملکرد در حالت تنش به عملکرد در حالت بدون تنش نزدیک‌تر باشد حساسیت ژنوتیپ به خشکی کمتر است. این شاخص فقط می‌تواند ژنوتیپ‌های با عملکرد زیاد در محیط تنش را گزینش نماید و ژنوتیپ‌های انتخابی الزاماً عملکرد مناسبی در شرایط بدون تنش ندارند (Fischer and Maurer, 1978). فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل تنش<sup>۴</sup> (STI) را تعریف کرد که می‌تواند برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی تولید می‌کنند استفاده شود. برآورد دیگر مبتنی بر عملکرد برای مقاومت به خشکی میانگین

<sup>5</sup> Geometric mean productivity

<sup>6</sup> Yield index

<sup>7</sup> Yield stability index

<sup>8</sup> Harmonic mean

<sup>1</sup> Tolerance index

<sup>2</sup> Mean productivity

<sup>3</sup> Stress susceptibility index

<sup>4</sup> Stress tolerance index

$$TOL = Y_p - Y_s \quad [۱]$$

میانگین بهره‌وری (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2} \quad [۲]$$

شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI = \frac{1 - (Y_s/Y_p)}{1 - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)} \quad [۳]$$

شاخص تحمل تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{\bar{Y}_p^2} \quad [۴]$$

میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{(Y_s \times Y_p)} \quad [۵]$$

شاخص عملکرد (Gavuzzi et al., 1997):

$$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s} \quad [۶]$$

شاخص پایداری عملکرد (Bouslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p} \quad [۷]$$

میانگین هارمونیک (Schneider et al., 1997):

$$HAM = \frac{2(Y_p \times Y_s)}{(Y_p + Y_s)} \quad [۸]$$

در این روابط  $Y_p$ ،  $Y_s$ ،  $\bar{Y}_p$  و  $\bar{Y}_s$  به ترتیب عملکرد در شرایط آبیاری، عملکرد در شرایط دیم، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط دیم هستند.

تجزیه واریانس مرکب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نرم‌افزار SAS9.0 انجام شد که محیط‌ها (دیم و آبی) به عنوان اثرات ثابت در نظر گرفته شدند. شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از Excel 2010 محاسبه گردید. مقایسات گروهی، مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد و ضرایب همبستگی عملکرد دانه با شاخص‌های تحمل به خشکی با نرم‌افزار SAS 9.0 محاسبه شدند. همچنین، به منظور تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، رسم نمودار سه‌بعدی و بای‌پلات به ترتیب از نرم‌افزارهای Stat graphics 18.1.01 و Past 3، Minitab 17 استفاده گردید.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۲) نشان داد که اثر محیط (دیم و آبی) در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین،

جدول ۱. اسامی، شجره و مبدأ ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Codes, pedigrees and origins of durum wheat genotypes used in the experiment

| شماره | شجره                                 | مبدأ   |
|-------|--------------------------------------|--------|
| Code  | Pedigree                             | Origin |
| 1     | Saji                                 | Iran   |
| 2     | Zardak                               | Iran   |
| 3     | 65-12-3-3                            | Iran   |
| 4     | 25-25-1-5                            | Iran   |
| 5     | 75-5-3-5                             | Iran   |
| 6     | 409                                  | Iran   |
| 7     | 259                                  | Iran   |
| 8     | 15-15-1-3                            | Iran   |
| 9     | 240                                  | Iran   |
| 10    | 37-24-2-3                            | Iran   |
| 11    | 249                                  | Iran   |
| 12    | Heider/Mt/Ho                         | ICARDA |
| 13    | Arthar 71/Bcr//ch5                   | ICARDA |
| 14    | Stj3/4/stn//Hvi/Somo/3/yav/fg/Roh    | ICARDA |
| 15    | Grdara-2                             | ICARDA |
| 16    | Lgt3/4/Bcr/3/chl//Gta/stk            | ICARDA |
| 17    | Aghrass-2                            | ICARDA |
| 18    | Quadalete//Erp/mol/3/unk/4/Mrb3/Mnal | ICARDA |
| 19    | MRB/MRA-1                            | ICARDA |
| 20    | BCR/GRO1/MGN/1                       | ICARDA |
| 21    | ADNON-2                              | ICARDA |
| 22    | WAHA                                 | ICARDA |
| 23    | STG3/BCR/LK54/3N ER-5                | ICARDA |

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در فصل زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. ویژگی‌های مزرعه شامل عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا، بافت خاک رسی و میانگین ۴۵۰-۴۸۰ میلی‌متر بارش سالانه است. کاشت بذر در اوایل آذر ۱۳۹۴ به صورت دستی انجام شد که هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف کشت با طول ۲ متر، فاصله ۲۵ سانتی‌متر و تراکم حدود ۴۰۰ بوته در مترمربع بود. کرت‌های آبی سه بار در مراحل گلدهی و پر شدن دانه آبیاری شدند اما در کرت‌های دیم غیر از بارندگی، آبیاری صورت نگرفت. برای اندازه‌گیری‌ها از دو ردیف میانی به طول ۱/۵ متر استفاده شد تا از اثرات حاشیه جلوگیری شود. عملکرد دانه هر کرت برحسب گرم در مترمربع با برداشت در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی محاسبه شد. شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981):

چون ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش از دو منشأ مختلف (ایرانی و خارجی) هستند، به منظور بررسی تفاوت میان ژنوتیپ‌ها مقایسات گروهی زیر در دو شرایط تنش (دیم) و بدون تنش (آبی) انجام گرفت: مقایسه ۱ (بین ژنوتیپ‌های ایرانی)، مقایسه ۲ (بین ژنوتیپ‌های خارجی) و مقایسه ۳ (بین ژنوتیپ‌های ایرانی و خارجی).

نتایج مقایسات گروهی نشان داد که مقایسه ۱ در سطح پنج درصد معنی‌دار است یعنی بین ژنوتیپ‌های ایرانی در هر دو شرایط اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد وجود داشت. مقایسه‌های ۲ و ۳ در سطح یک درصد معنی‌دار بودند؛ یعنی بین ژنوتیپ‌های خارجی و همچنین بین ژنوتیپ‌های ایرانی و خارجی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳). تنش خشکی عملکرد دانه در تمام ژنوتیپ‌ها را کاهش داد و میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش به ترتیب ۶۰۴/۱۹ و ۴۱۰/۷۲ گرم در مترمربع بود. میانگین عملکرد دانه در شرایط دیم ۳۲ درصد کمتر از شرایط آبی بود (شدت تنش ۰/۳۲ بود). ژنوتیپ‌های ۱۸ و ۴ به ترتیب در شرایط آبی و دیم، بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴). به منظور ارزیابی تحمل به خشکی در این ژنوتیپ‌ها شاخص‌های مختلفی بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه شدند.

جدول ۳. تجزیه واریانس و مقایسات گروهی ۲۳ ژنوتیپ گندم دوروم برای عملکرد دانه

Table 3. Analysis of variance and orthogonal comparison of 23 durum wheat genotypes for grain yield

| Sources of Variations | منابع تغییرات  | درجه آزادی<br>df | تنش                     |                         |
|-----------------------|----------------|------------------|-------------------------|-------------------------|
|                       |                |                  | بدون تنش<br>Irrigated   | تنش<br>Rain-fed         |
| Replication           | بلوک           | 2                | 29200.45 <sup>ns</sup>  | 26243.56 <sup>ns</sup>  |
| Genotype              | ژنوتیپ         | 22               | 81211.75 <sup>**</sup>  | 58666.24 <sup>**</sup>  |
| contrast 1            | مقایسه ۱       | 10               | 529444.64 <sup>*</sup>  | 23934.03 <sup>*</sup>   |
| contrast 2            | مقایسه ۲       | 11               | 82047.48 <sup>**</sup>  | 58473.98 <sup>**</sup>  |
| contrast 3            | مقایسه ۳       | 1                | 354689.71 <sup>**</sup> | 408103.11 <sup>**</sup> |
| Error                 | خطا            | 44               | 24504.78                | 10743.62                |
| CV%                   | ضریب تغییرات % |                  | 25.91                   | 25.24                   |

<sup>ns</sup>، \* و <sup>\*\*</sup> به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

<sup>ns</sup>، \* and <sup>\*\*</sup>: Not significant and significant at 5% and 1% level, respectively.

۱۲ بالاترین و ژنوتیپ‌های ۲، ۹ و ۱۷ کمترین مقادیر شاخص SSI را نشان دادند. دو ژنوتیپ با عملکرد زیاد یا کم در دو محیط می‌توانند مقدار SSI یکسانی داشته باشند، بنابراین انتخاب بر اساس این شاخص، ممکن است به‌نژادگران را

ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد داشتند، اما برهمکنش محیط×ژنوتیپ معنی‌دار نبود.

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب ۲۳ ژنوتیپ گندم دوروم برای عملکرد دانه

Table 2. Combined analysis of variance of 23 durum wheat genotypes for grain yield

| Sources of Variations | منابع تغییرات       | درجه آزادی | میانگین مربعات          |
|-----------------------|---------------------|------------|-------------------------|
|                       |                     | df         | Mean of squares         |
| Environment           | محیط                | 1          | 1291345.5 <sup>**</sup> |
| Error                 | خطا (تکرار در محیط) | 4          | 27722                   |
| Genotype              | ژنوتیپ              | 22         | 130585.97 <sup>**</sup> |
| Environment×Genotype  | محیط×ژنوتیپ         | 22         | 9292.02 <sup>ns</sup>   |
| Error                 | خطا                 | 88         | 17624.2                 |
| CV%                   | ضریب تغییرات %      |            | 26.16                   |

<sup>ns</sup> و <sup>\*\*</sup> به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح یک درصد

<sup>ns</sup> and <sup>\*\*</sup>: Not significant and significant at 1% level respectively.

نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۸ و ۱۹ بر اساس شاخص‌های MP، GMP، STI، HAM و YI بیشترین مقادیر را داشتند در حالی که ژنوتیپ‌های ۴ و ۷ کمترین مقادیر را نشان دادند (جدول ۳). ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۰، ۱۸ و

به‌اشتباه بیندازد (Naeimi et al., 2008). ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۰، ۱۸ و ۱۲ بالاترین و ژنوتیپ‌های ۲، ۹ و ۱۷ کمترین شاخص پایداری عملکرد را داشتند. مقدار پایین شاخص

TOL تحمل بالاتر ژنوتیپ را نشان می‌دهد؛ بنابراین ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس TOL پایین انتخاب می‌شوند.

جدول ۴. متوسط مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 4. Average values of drought tolerance indices in genotypes of durum wheat

| ژنوتیپ‌ها<br>Genotypes | Y <sub>p</sub> | Y <sub>s</sub> | TOL    | MP     | GMP    | HAM    | STI  | SSI  | YI   | YSI  |
|------------------------|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|
| 1                      | 609.18         | 346.71         | 262.47 | 477.95 | 459.57 | 441.91 | 0.58 | 1.35 | 0.84 | 0.57 |
| 2                      | 590.74         | 290.71         | 300.03 | 440.73 | 414.41 | 389.66 | 0.47 | 1.59 | 0.71 | 0.49 |
| 3                      | 774.88         | 513.81         | 261.07 | 644.34 | 630.98 | 617.90 | 1.09 | 1.05 | 1.25 | 0.66 |
| 4                      | 356.06         | 201.58         | 154.48 | 278.82 | 267.91 | 257.42 | 0.20 | 1.35 | 0.49 | 0.57 |
| 5                      | 592.3          | 402.4          | 189.9  | 497.35 | 488.20 | 479.22 | 0.65 | 1.00 | 0.98 | 0.68 |
| 6                      | 490.97         | 348.21         | 142.76 | 419.59 | 413.48 | 407.45 | 0.47 | 0.91 | 0.85 | 0.71 |
| 7                      | 364.16         | 204.23         | 159.93 | 284.20 | 272.72 | 261.70 | 0.20 | 1.37 | 0.50 | 0.56 |
| 8                      | 593.99         | 365.32         | 228.67 | 479.65 | 465.83 | 452.40 | 0.59 | 1.20 | 0.89 | 0.62 |
| 9                      | 630.42         | 322.37         | 308.05 | 476.40 | 450.81 | 426.60 | 0.56 | 1.53 | 0.78 | 0.51 |
| 10                     | 422.99         | 368.33         | 54.66  | 395.66 | 394.72 | 393.78 | 0.43 | 0.40 | 0.90 | 0.87 |
| 11                     | 396.69         | 270.7          | 125.99 | 333.70 | 327.70 | 321.80 | 0.29 | 0.99 | 0.66 | 0.68 |
| 12                     | 507.44         | 428.35         | 79.09  | 467.90 | 466.22 | 464.55 | 0.60 | 0.49 | 1.04 | 0.84 |
| 13                     | 516.68         | 319.65         | 197.03 | 418.16 | 406.39 | 394.95 | 0.45 | 1.19 | 0.78 | 0.62 |
| 14                     | 797.01         | 518.25         | 278.77 | 657.63 | 642.69 | 628.09 | 1.13 | 1.09 | 1.26 | 0.65 |
| 15                     | 359.54         | 329.01         | 30.53  | 344.27 | 343.93 | 343.60 | 0.32 | 0.27 | 0.80 | 0.92 |
| 16                     | 735.99         | 489.43         | 246.57 | 612.71 | 600.18 | 587.90 | 0.99 | 1.05 | 1.19 | 0.66 |
| 17                     | 516.61         | 282.59         | 234.02 | 399.60 | 382.09 | 365.34 | 0.40 | 1.41 | 0.69 | 0.55 |
| 18                     | 938.37         | 804.11         | 134.27 | 871.24 | 868.65 | 866.07 | 2.07 | 0.45 | 1.96 | 0.86 |
| 19                     | 838.62         | 558.5          | 280.12 | 698.56 | 684.38 | 670.48 | 1.28 | 1.04 | 1.36 | 0.67 |
| 20                     | 720.91         | 478.24         | 242.67 | 599.58 | 587.17 | 575.02 | 0.94 | 1.05 | 1.16 | 0.66 |
| 21                     | 729.88         | 492.2          | 237.68 | 611.04 | 599.37 | 587.93 | 0.98 | 1.02 | 1.20 | 0.67 |
| 22                     | 732.04         | 552.24         | 179.8  | 642.14 | 635.81 | 629.55 | 1.11 | 0.77 | 1.34 | 0.75 |
| 23                     | 680.94         | 559.71         | 121.23 | 620.33 | 617.36 | 614.41 | 1.04 | 0.56 | 1.36 | 0.82 |
| Mean                   | 604.19         | 410.72         | 193.47 | 507.46 | 496.55 | 485.99 | 0.73 | 1.01 | 1.00 | 0.68 |
| LSD 0.05               | 257.59         | 170.56         |        |        |        |        |      |      |      |      |

بر اساس تمام شاخص‌های محاسبه‌شده در جدول ۴، در اغلب موارد ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۰، ۱۸، ۱۲ و ۱۹ متحمل به خشکی و ژنوتیپ‌های ۲، ۹، ۱۷، ۴ و ۷ حساس به خشکی بودند. برای تعیین مطلوب‌ترین معیارهای مقاومت به خشکی، ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی محاسبه گردید (جدول ۵). نتایج نشان داد که عملکرد دانه در شرایط دیم (Y<sub>s</sub>) همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد با شاخص‌های MP، GMP، HAM، STI و YI داشت، همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح پنج درصد با شاخص YSI و همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح پنج درصد با شاخص SSI مشاهده شد. بین عملکرد دانه در شرایط آبی (Y<sub>p</sub>) و شاخص‌های TOL، MP، GMP، HAM، STI و YI همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد وجود داشت که نشان می‌دهد این شاخص‌ها در

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۰ و ۱۲ کمترین مقادیر این شاخص را داشتند. بیشترین مقادیر TOL را ژنوتیپ‌های ۹ و ۲ نشان دادند. ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۰ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های SSI و TOL بودند، درحالی‌که بر اساس سایر شاخص‌ها جزو ژنوتیپ‌های حساس قرار گرفتند؛ بنابراین TOL و SSI الزاماً شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی نیستند. چون ژنوتیپ‌هایی که مقادیر کمتری از شاخص TOL را داشتند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند، انتخاب بر اساس این شاخص منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی در شرایط تنش خشکی و عملکرد نسبتاً کمی در شرایط بدون تنش دارند. از این‌رو شاخص‌های TOL و SSI به‌تنهایی قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا نیستند (Shahryari and Mollasadeghi, 2011).

گزارش‌های امیری و همکاران (Amiri et al., 2014) و فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2018) در گندم نان (*Triticum aestivum* L.) و پاتل و همکاران (Patel et al., 2019) در گندم دوروم (*Triticum durum* L.) مطابقت دارند.

شناسایی ارقام با عملکرد بالا تحت شرایط آبی متفاوت، مؤثر هستند. عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) همبستگی مثبت معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) داشت که نشان می‌دهد عملکرد بالا در شرایط مطلوب منجر به عملکرد نسبتاً زیاد در شرایط تنش می‌شود. این نتایج با

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص‌های مورد استفاده

Table 5. Correlation coefficients between grain yield and utilized indices

|     | عملکرد<br>در شرایط<br>آبیاری<br>Yp | عملکرد<br>در شرایط<br>تنش<br>Ys | شاخص<br>تحمل<br>TOL | میانگین<br>بهره وری<br>MP | میانگین<br>هندسی<br>بهره وری<br>GMP | میانگین<br>هارمونیک<br>HAM | شاخص<br>تحمل<br>تنش<br>STI | شاخص<br>حساسیت<br>به تنش<br>SSI | شاخص<br>عملکرد<br>YI |
|-----|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Ys  | 0.878**                            |                                 |                     |                           |                                     |                            |                            |                                 |                      |
| TOL | 0.529**                            | 0.060 <sup>ns</sup>             |                     |                           |                                     |                            |                            |                                 |                      |
| MP  | 0.974**                            | 0.963**                         | 0.323 <sup>ns</sup> |                           |                                     |                            |                            |                                 |                      |
| GMP | 0.962**                            | 0.975**                         | 0.279 <sup>ns</sup> | 0.998**                   |                                     |                            |                            |                                 |                      |
| HAM | 0.949**                            | 0.983**                         | 0.237 <sup>ns</sup> | 0.995**                   | 0.998**                             |                            |                            |                                 |                      |
| STI | 0.931**                            | 0.975**                         | 0.213 <sup>ns</sup> | 0.981**                   | 0.985**                             | 0.986**                    |                            |                                 |                      |
| SSI | -0.52 <sup>ns</sup>                | -0.503*                         | 0.784**             | -0.268 <sup>ns</sup>      | -0.310 <sup>ns</sup>                | -0.350 <sup>ns</sup>       | -0.331 <sup>ns</sup>       |                                 |                      |
| YI  | 0.877**                            | 1.000**                         | 0.058 <sup>ns</sup> | 0.963**                   | 0.974**                             | 0.983**                    | 0.975**                    | -0.504*                         |                      |
| YSI | 0.049 <sup>ns</sup>                | 0.500*                          | -0.786**            | 0.246 <sup>ns</sup>       | 0.307 <sup>ns</sup>                 | 0.346 <sup>ns</sup>        | 0.329 <sup>ns</sup>        | -1.000**                        | 0.501*               |

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد

<sup>ns</sup>، \* and \*\*: Not significant, significant at 5% and 1% levels respectively.

منفی کامل بین شاخص‌های YSI و SSI مشاهده شد که مشابه گزارش کامرانی و همکاران (Kamrani et al., 2016) در گندم دوروم بود.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در دو شرایط آبی و دیم باعث ایجاد تعدادی ترکیب‌های خطی از این شاخص‌ها شد که این ترکیب‌های خطی بیشترین تنوع در داده‌ها را به خود اختصاص می‌دهند (Kamrani et al., 2016). استفاده از بای‌پلات به‌عنوان روشی بهتر از تحلیل همبستگی ساده به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برای هر دو شرایط تنش و بدون تنش ضروری است، چون ژنوتیپ‌ها در آنالیز بای‌پلات برای تمام صفات به‌طور هم‌زمان مقایسه می‌شوند (Amiri et al., 2014)؛ بنابراین برای بررسی هم‌زمان روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی، از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و آنالیز بای‌پلات استفاده گردید.

همبستگی مثبت معنی‌دار بین TOL و Yp نشان می‌دهد که انتخاب بر مبنای TOL کمتر منجر به کاهش عملکرد در شرایط آبیاری خواهد شد. نتایج مشابه توسط نوری و همکاران (Nouri et al., 2011) در گندم دوروم و نجفی و گراوندی (Najaphy and Geravandi, 2011) در گندم نان گزارش شده‌است. شاخص‌های MP، GMP، HAM، YI و STI همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار با یکدیگر و عملکرد دانه در شرایط آبی و دیم داشتند بنابراین همگی شاخص‌های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی هستند که در هر دو شرایط آبی و دیم عملکرد خوبی دارند. نتایج مشابه توسط امیری و همکاران (Amiri et al., 2014) و فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2018) در گندم نان گزارش شده‌اند. بالاترین همبستگی بین شاخص‌های Ys و YI مشاهده شد که نتایج مطالعات قبلی را تأیید کرد (Amiri et al., 2014; Farshadfar and Elyasi, 2012). همچنین همبستگی

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشخص کرد که بیشترین تغییرات بین داده‌ها توسط دو مؤلفه PCA1 (مؤلفه اول) و PCA2 (مؤلفه دوم) بیان می‌شود (به ترتیب ۷۱ و ۲۸ درصد)، در نتیجه تفسیر نتایج بر اساس این دو مؤلفه کارایی بالایی دارد (جدول ۶). همچنین، از بین مؤلفه‌های محاسبه‌شده تنها دو مؤلفه اول و دوم مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند (به ترتیب ۷/۱۳ و ۲/۷۷)، بنابراین برای ترسیم بای‌پلات استفاده شدند (شکل ۱). آنالیز نشان داد که مؤلفه اول همبستگی مثبت و نسبتاً زیادی با شاخص‌های  $Y_I$ ،  $MP$ ،  $Y_p$ ،  $Y_s$ ،

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشخص کرد که بیشترین تغییرات بین داده‌ها توسط دو مؤلفه PCA1 (مؤلفه اول) و PCA2 (مؤلفه دوم) بیان می‌شود (به ترتیب ۷۱ و ۲۸ درصد)، در نتیجه تفسیر نتایج بر اساس این دو مؤلفه کارایی بالایی دارد (جدول ۶). همچنین، از بین مؤلفه‌های محاسبه‌شده تنها دو مؤلفه اول و دوم مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند (به ترتیب ۷/۱۳ و ۲/۷۷)، بنابراین برای ترسیم بای‌پلات استفاده شدند (شکل ۱). آنالیز نشان داد که مؤلفه اول همبستگی مثبت و نسبتاً زیادی با شاخص‌های  $Y_I$ ،  $MP$ ،  $Y_p$ ،  $Y_s$ ،

جدول ۶. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 6. The results of principal components analysis for drought tolerance indices in durum wheat genotypes

| مؤلفه<br>Component | مقدار ویژه<br>Eigenvalue | درصد واریانس<br>Percentage of variance | واریانس تجمعی<br>Cumulative variance | ضرایب مؤلفه‌ها برای عملکرد در شرایط نرمال (Yp) تنش (Ys) و شاخص‌های تنش<br>Component coefficients for yield under normal conditions (Yp), stress (Ys) and stress indices |       |      |      |       |
|--------------------|--------------------------|--|--------------------------------------|---|-------|------|------|-------|
|                    |                          |  |                                      | $Y_s$   | $Y_p$ | TOL  | MP   | YSI   |
| 1                  | 7.135                    | 0.71                                   | 0.71                                 | 0.37  | 0.34  | 0.06 | 0.37 | 0.16  |
| 2                  | 2.775                    | 0.28                                   | 0.99                                 | -0.06   | 0.23  | 0.58 | 0.10 | -0.54 |

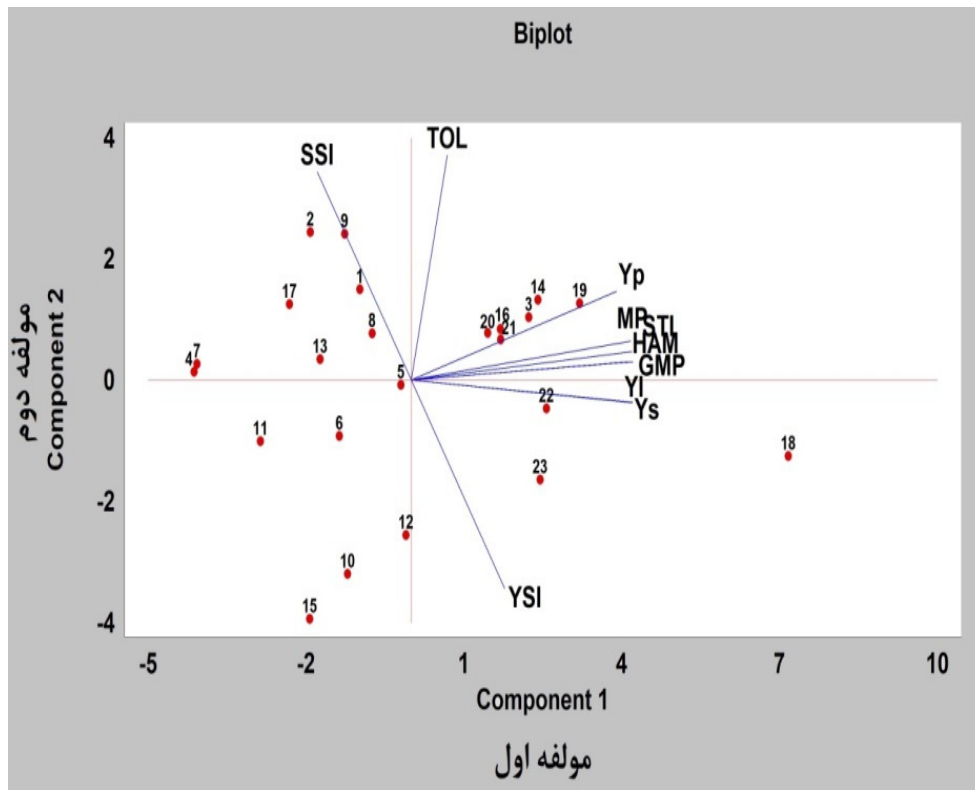
Table 6. Continued

جدول ۶. ادامه

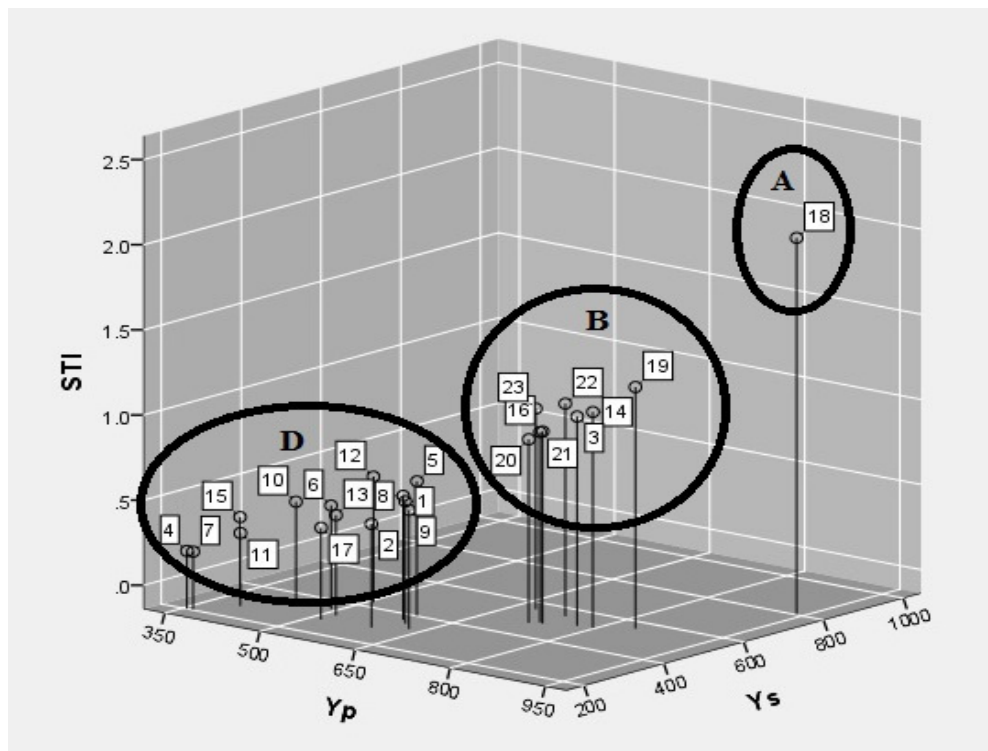
| مؤلفه<br>Component | مقدار ویژه<br>Eigenvalue | درصد واریانس<br>Percentage of variance | واریانس تجمعی<br>Cumulative variance | ضرایب مؤلفه‌ها برای عملکرد در شرایط نرمال (Yp) تنش (Ys) و شاخص‌های تنش<br>Component coefficients for yield under normal conditions (Yp), stress (Ys) and stress indices |      |      |      |       |
|--------------------|--------------------------|--|--------------------------------------|---|------|------|------|-------|
|                    |                          |  |                                      | YI  | GMP  | STI  | HAM  | SSI   |
| 1                  | 7.135                    | 0.71                                   | 0.71                                 | 0.37  | 0.37 | 0.37 | 0.37 | -0.16 |
| 2                  | 2.775                    | 0.28                                   | 0.99                                 | -0.06   | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.54  |

بیشتر مؤلفه اول و مقدار کمتر مؤلفه دوم، ژنوتیپ برتر در هر دو شرایط تنش و بدون تنش است. به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، نمودار سه‌بعدی بر مبنای شاخص‌های  $Y_p$ ،  $Y_s$  و  $STI$  رسم گردید (شکل ۲). نمودار سه‌بعدی برای نمایش روابط متقابل بین این سه شاخص به منظور جدا کردن ژنوتیپ‌های گروه A (ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش) از سایر گروه‌ها (B، C و D) و برای نشان دادن مزیت شاخص  $STI$  به عنوان معیار انتخاب برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی ارائه شده است (Farshadfar et al., 2018).

در شکل بای‌پلات زاویه منفرجه بین بردارها بیانگر همبستگی منفی شاخص‌ها، زاویه قائمه نشانه مستقل بودن آن‌ها و زاویه حاده بیانگر همبستگی مثبت شاخص‌ها است (Yan and Kang, 2002). با توجه به زوایای بین شاخص‌ها می‌توان استنباط کرد که شاخص‌های  $GMP$ ،  $MP$ ،  $STI$ ،  $HAM$  و  $YI$  همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد گندم در شرایط تنش و بدون تنش دارند (شکل ۱). این نتیجه با گزارش‌های امیری و همکاران (Amiri et al., 2014) در گندم نان و پاتل و همکاران (Patel et al., 2019) در گندم دوروم مطابقت دارد. با توجه به بای‌پلات، ژنوتیپ ۱۸ با مقدار



شکل ۱. نمودار بای پلات ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم  
 Fig. 1. Biplot graph of durum wheat genotypes based on first and second components

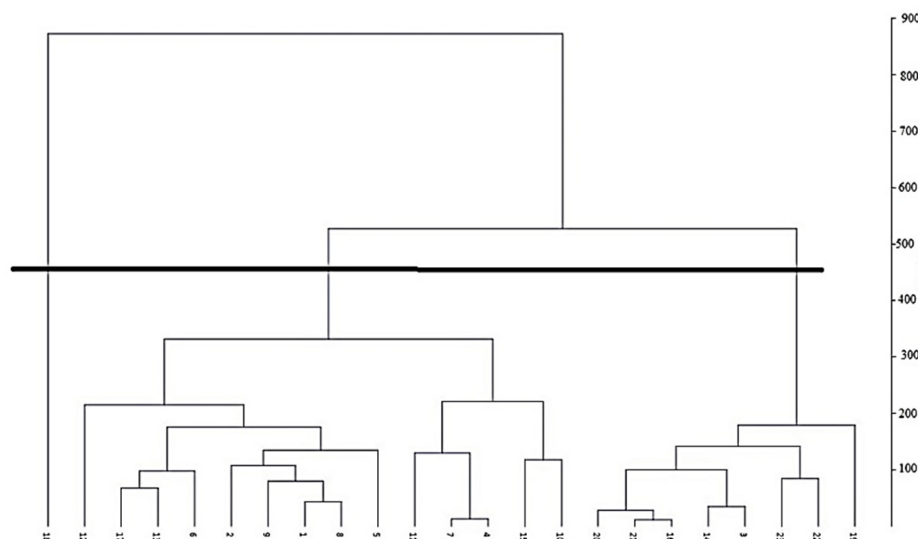


شکل ۲. نمودار سه‌بعدی بر اساس شاخص‌های STI، Yp و Ys.  
 Fig. 2. Three dimensional plot based on STI, Yp and Ys indices.



ژنوتیپ‌های با تولید زیاد فقط در شرایط تنش (گروه C) و در نهایت ژنوتیپ‌های با تولید کم در هر دو شرایط (گروه D). بر اساس تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها به سه گروه تقسیم شدند. گروه اول (گروه A)، ژنوتیپ ۱۸ بود که بالاترین مقادیر  $Y_s$ ،  $MP$ ،  $Yp$ ،  $GMP$ ،  $YI$ ،  $STI$  و  $HAM$  را داشت. این شاخص‌ها قادر به انتخاب و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه زیاد در هر دو شرایط هستند (Fernandez, 1992). گروه دوم (گروه B)، شامل ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲۲، ۲۳، ۳، ۱۴، ۱۶، ۲۱ و ۲۰ است که برای شرایط بدون تنش مناسب هستند. ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۷، ۱۳، ۶، ۲، ۹، ۱، ۸، ۵، ۱۱، ۷، ۴، ۱۵ و ۱۰ حساس به خشکی هستند و در هر دو شرایط عملکرد کمی داشتند (گروه D).

در نمودار سه‌بعدی ژنوتیپ ۱۸ در گروه A قرار گرفت، این ژنوتیپ عملکرد پایداری در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشت. تجزیه خوشه‌ای ۲۳ ژنوتیپ بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در دو شرایط آبی و دیم با استفاده از روش UPGMA و بر مبنای فاصله اقلیدسی انجام شد (شکل ۳). برای تعیین خط برش کلاستر از روش‌های بیشترین گسیختگی بر اساس تغییر ناگهانی در اختلاف دو فاصله ادغام متوالی و ریشه دوم تعداد افراد استفاده گردید. فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ‌ها را بر اساس تولید آن‌ها در شرایط بدون تنش و تنش به چهار گروه تقسیم کرد: ژنوتیپ‌های با تولید زیاد در هر دو شرایط (گروه A)، ژنوتیپ‌های با تولید زیاد فقط در شرایط بدون تنش (گروه B)،



شکل ۳. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در ۲۳ ژنوتیپ گندم دوروم به روش UPGMA  
Fig. 3. Dendrogram of cluster analysis based on drought tolerance indices in 23 durum wheat genotypes by UPGMA method

شاخص‌های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی هستند که در هر دو شرایط آبی و دیم عملکرد خوبی دارند. بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، نمودار سه‌بعدی و تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ ۱۸ با منشأ ایکاردا به‌عنوان ژنوتیپ برتر گندم دوروم در هر دو شرایط تنش و بدون تنش شناسایی شد که تحمل بالایی به تنش خشکی دارد.

### نتیجه‌گیری نهایی

تنش خشکی عملکرد دانه در تمام ژنوتیپ‌ها را کاهش داد و ژنوتیپ‌های ۱۸ و ۴ به ترتیب در شرایط آبی و دیم، بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند. شاخص‌های  $GMP$ ،  $MP$ ،  $STI$  و  $YI$ ،  $HAM$  همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط آبی و دیم داشتند بنابراین همگی

## منابع

- Amiri, R., Bahraminejad, S., Sasani, S. Ghobadi, M., 2014. Genetic evaluation of 80 irrigated bread wheat genotypes for drought tolerance indices. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 20, 101-111 .
- Betran, F., Beck, D., Bänziger, M. Edmeades, G., 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. *Crop Science*. 43, 807-817 .
- Bousslama, M. Schapaugh, W., 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 24, 933-937 .
- Byrne, P., Bolanos, J., Edmeades, G. Eaton, D., 1995. Gains from selection under drought versus multilocation testing in related tropical maize populations. *Crop Science*. 35, 63-69 .
- Clarke, J. M., Townley-Smith, F., McCaig, T.N. Green, D.G., 1984. Growth analysis of spring wheat cultivars of varying drought resistance. *Crop Science*. 24, 537-541 .
- Farshadfar, E., Elyasi, P., 2012. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. *European Journal of Experimental Biology*. 2, 577-584 .
- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M. Safavi, S. M. 2018. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 1, 143-158 .
- Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. P. 257-270. *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress*. 13-16 Aug. 1992. Shanhua. Taiwan.
- Fischer, R., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 897-912 .
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R., Ricciardi, G., 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 .
- Kamrani, M., Ebadi, A., Mehreban, A., 2016. Evaluation of grain yield-based drought tolerance indices for screening durum wheat genotypes. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. 12(2). 649-665.
- Li, P., Chen, J., Wu, P., 2011. Agronomic characteristics and grain yield of 30 spring wheat genotypes under drought stress and nonstress conditions. *Agronomy Journal*. 103, 1619-1628 .
- Mohammadi, R., Abdulahi, A., 2017. Evaluation of durum wheat genotypes based on drought tolerance indices under different levels of drought stress. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*. 62, 1-14 .
- Mohammadi, R., Armion, M., Kahrizi, D. Amri, A., 2010. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *International Journal of Plant Production*. 4, 11-24 .
- Naeimi, M., Akbari, G.A., Shiranirad, A.H., Modares, S.S., Sadat, N.S., Jabari, H., 2008. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. *Electronic Journal of Crop Production*. 1(3). 83-98. [In Persian with English summary].
- Najaphy, A., Geravandi, M., 2011. Assessment of indices to identify wheat genotypes adapted to irrigated and rain-fed environments. *Advances in Environmental Biology*. 5(10). 3212-3219 .
- 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 turgidum* var. durum Desf.). *Australian Journal of Crop Science*. 5, 8-16 .
- Patel, J., Patel, A., Patel, C., Mamrutha, H., Pradeep, S., Pachchigar, K.P., 2019. Evaluation of selection indices in screening durum wheat genotypes combining drought tolerance and high yield potential. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 8, 1165-1178 .
- Rathjen, A., 1994. The biological basis of genotype× environment interaction: its definition and management. P. 13-17. *Proceedings of the Seventh Assembly of the Wheat Breeding Society of Australia, Adelaide, Australia*.

- Rosielle, A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21, 943-946 .
- Schneider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J.A., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N., Kelly, J.D., 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*. 37, 43-50 .
- Shahyari, R., Mollasadeghi, V., 2011. Introduction of two principle components for screening of wheat genotypes under end seasonal drought. *Advances in Environmental Biology*. 5, 519-523 .
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*. 98, 222-229 .
- Yan, W., Kang, M.S., 2002. *GGE biplot analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists*. CRC press.