



## Selection of salinity-tolerant durum wheat genotypes at germination stage using MGIDI and IGSI multi-trait selection indices

Fatemeh Saber<sup>1</sup>, Rasool Asghari Zakaria<sup>2\*</sup>, Nasser Zare<sup>3</sup> and Salim Farzaneh<sup>4</sup>

1. M.Sc. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (\* Corresponding author: [r-asghari@uma.ac.ir](mailto:r-asghari@uma.ac.ir))
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4. Associate Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

### Comprehensive abstract

#### Introduction

Durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) or hard wheat, is the second most important wheat crop species. Since durum wheat is mainly cultivated under dryland conditions in the Mediterranean region, its yield is strongly affected by abiotic stresses, especially drought and salinity. Salinity stress causes osmotic stress and disrupts the ionic balance of the cells and plant physiologic processes such as seed germination and seedling growth. This study was conducted to identify durum wheat salinity tolerant genotypes at germination stage using multi-trait selection indices such as multi-trait genotype-ideotype distance index (MGIDI) and the ideal genotype selection index (IGSI).

#### Materials and methods

The plant materials of this research were 50 different durum wheat genotypes, which were evaluated for salinity tolerance at germination stage. The experiment was conducted as a factorial in a completely randomized design with three replications. To create salinity stress, sodium chloride (NaCl) was used at three levels including 0 (control), 150 mM (~15 dS.m<sup>-1</sup>), and 300 mM (~30 dS.m<sup>-1</sup>) concentrations. To evaluate the salinity tolerance of the studied genotypes, quantitative stress tolerance indices were first calculated based on root (radicle) and shoot (plumule) dry weight under non-stress conditions (Y<sub>p</sub>) and average salinity levels (Y<sub>s</sub>) for each genotype. Then according to the results of factor analysis based on principal component analysis (PCA), the MGIDI index was calculated using the factor scores of the first two factors with eigen values greater than one. The IGSI index for each genotype was also calculated using all stress tolerance indices.

#### Research findings

The results of factor analysis based on principal component analysis (PCA) showed that the first two factors with eigen values greater than one explained 99.6 of the total variance. The calculation of the MGIDI index based on the factor scores of the studied genotypes showed that in average salinity stress conditions, genotypes 6, 23, 5, 30, 34, 29, 31, 2, 10, 39, 13, 9, 47, 12, 52, 48, and 1 with lower values of MGIDI (between 0.90 and 2.50) and higher values of IGSI (between 0.65 and 0.80) were the best genotypes in term of salinity tolerance. In contrast, genotypes 46, 43, 19, 26, 4, 15, 42, 38, 11, and 37 with the lower values of IGSI and the higher values of MGIDI, were considered as weak and sensitive genotypes to salinity. The coefficient of determination (R<sup>2</sup>) between these two indices for all genotypes was 92%, indicating a high correlation between these two indices and the selection of same genotypes.



## **Conclusion**

The results of the present study showed that there was a significant genetic diversity among the studied durum wheat genotypes for salinity tolerance at the germination stage, which can be used in the breeding programs of this valuable crop. IGSI and MGIDI indices were also effective in identifying superior genotypes based on all stress tolerance indices. Therefore, these indices can be recommended to select salinity tolerant genotypes based on different traits in breeding programs.

**Keywords:** Factor analysis, Plumule, Radicle, Salinity stress, Stress tolerance indices

---

Received: June 20, 2022

Accepted: September 15, 2022

## **Cite this article:**

**Saber, F., Asghari Zakaria, R., Zare, N. and Farzaneh, S. 2022.** Selection of salinity-tolerant durum wheat genotypes at germination stage using MGIDI and IGSI multi-trait selection indices. *Cereal Research*, 12(3), pp. 263-279.



## گزینش ژنوتیپ‌های گندم دوروم متحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی با استفاده از شاخص‌های گزینش چند صفتی MGIDI و IGSI

فاطمه صابر<sup>۱</sup>، رسول اصغری زکریا<sup>۲\*</sup>، ناصر زارع<sup>۳</sup> و سلیم فرزانه<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (\* نویسنده مسئول):

[r-asghari@uma.ac.ir](mailto:r-asghari@uma.ac.ir)

۳- استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
۴- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

### چکیده جامع

**مقدمه:** گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) یا گندم سخت، دومین گونه زراعی مهم گندم است. از آنجایی که گندم دوروم عمدتاً در شرایط دیم در ناحیه مدیترانه کشت می‌شود، عملکرد آن شدیداً تحت تأثیر تنش‌های غیرزیستی به‌ویژه خشکی و شوری قرار می‌گیرد. تنش شوری باعث ایجاد تنش اسمزی می‌شود و تعادل یونی سلول و فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه مانند جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه را مختل می‌کند. این مطالعه به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری گندم دوروم در مرحله جوانه‌زنی با استفاده از شاخص‌های گزینش چند صفتی مانند شاخص فاصله ژنوتیپ-ایدیوتیپ چند صفتی (MGIDI) و شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل (IGSI) انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** مواد گیاهی این تحقیق، ۵۰ ژنوتیپ مختلف گندم دوروم بود که از نظر تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای ایجاد تنش شوری نیز از نمک کلرید سدیم در سه سطح شامل غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱۵۰ میلی‌مولار (تقریباً معادل ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) و ۳۰۰ میلی‌مولار (تقریباً معادل ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر) استفاده شد. به‌منظور ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌ها، ابتدا شاخص‌های کمی تحمل به تنش بر اساس وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط بدون تنش (Yp) و در میانگین سطوح شوری (Ys) برای هر ژنوتیپ محاسبه شد. سپس شاخص MGIDI با توجه نتایج تحلیل عاملی و بر مبنای نمرات عاملی دو عامل اول (با مقادیر ویژه بیش‌تر از یک) محاسبه شد. شاخص IGSI نیز با در نظر گرفتن تمامی شاخص‌های تحمل به تنش برای هر یک از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه محاسبه شد.

**یافته‌های تحقیق:** نتایج تحلیل عاملی بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو عامل اول با مقادیر ویژه بیش‌تر از یک ۹۹/۶ درصد از واریانس کل را تبیین کردند. محاسبه شاخص MGIDI برای هر یک از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس نمرات عاملی نشان داد که در میانگین شرایط تنش شوری، ژنوتیپ‌های ۶، ۲۳، ۵، ۳۰، ۳۴، ۲۹، ۳۱، ۲، ۱۰، ۳۹، ۱۳، ۹، ۴۷، ۱۲، ۵۲، ۴۸ و ۱ با داشتن مقادیر کم‌تر شاخص MGIDI (بین ۰/۹۰ تا ۲/۵۰) و مقادیر بالاتر شاخص IGSI (بین ۰/۶۵ تا

۰/۸۰) بهترین ژنوتیپها از نظر تحمل به شوری بودند. در مقابل، ژنوتیپهای ۴۶، ۴۳، ۱۹، ۲۶، ۴، ۱۵، ۴۲، ۳۸، ۱۱ و ۳۷ که دارای مقادیر IGSI پایین تر و MGIDI بالاتر بودند و به عنوان ژنوتیپهای ضعیف و حساس به شوری در نظر گرفته شدند. ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین این دو شاخص برای همه ژنوتیپها ۹۲ درصد بود که نشان دهنده همبستگی بالای بین این دو شاخص و انتخاب ژنوتیپهای یکسان بود.

**نتیجه‌گیری:** نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل توجهی در بین ژنوتیپهای گندم دوروم مورد مطالعه از نظر تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی وجود داشت که می‌توان از آن در برنامه‌های اصلاحی این گیاه زراعی ارزشمند استفاده کرد. همچنین شاخص‌های IGSI و MGIDI در شناسایی ژنوتیپهای برتر بر اساس تمامی شاخص‌های تحمل به تنش مؤثر بودند. بنابراین، از این شاخص‌ها می‌توان برای گزینش ژنوتیپهای متحمل به شوری بر اساس صفات مختلف در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل عاملی، تنش شوری، ریشه‌چه، ساقه‌چه، شاخص‌های تحمل به تنش

---

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴

**نحوه استناد به این مقاله:**

صابر، فاطمه، اصغری زکریا، رسول، زارع، ناصر و فرزانه، سلیم. ۱۴۰۱. گزینش ژنوتیپهای گندم دوروم متحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی با استفاده از شاخص‌های گزینش چند صفتی MGIDI و IGSI. *تحقیقات غلات*، ۱۲(۳): ۲۷۹-۲۶۳.

## مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) یا گندم سخت که برای تولید محصولات ماکارونی استفاده می‌شود، دومین گونه زراعی مهم گندم و دهمین محصول زراعی مهم دنیا است (El-Hassouni *et al.*, 2019) که حدود شش درصد از سطح زیر کشت گندم را شامل می‌شود و تولید سالانه آن بین ۳۷ تا ۴۰ میلیون تن است و در کشورهای با شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای مانند ترکیه کشت می‌شود (International Grains Council, 2021). سطح زیرکشت گندم دوروم در ایران در حدود ۳۰۰-۴۰۰ هزار هکتار است و بیش‌تر در مناطق گرمسیری، نیمه‌گرمسیری و معتدل کشور کشت می‌شود (Mohammadi, 2016). گندم دوروم از لحاظ ترکیبات شیمیایی، میزان پروتئین، املاح، ویتامین‌ها و رنگدانه‌های کاروتنوئیدی غنی‌تر از گندم نان است (Subira *et al.*, 2014). از آنجایی که گندم دوروم عمدتاً در شرایط دیم در حوضه مدیترانه کشت می‌شود، عملکرد آن شدیداً تحت تأثیر تنش‌های غیرزیستی به‌ویژه خشکی و شوری قرار می‌گیرد (Xynias *et al.*, 2020). گندم دوروم یکی از غلات حساس در برابر شوری است که دلیل آن عدم وجود ژن مسئول دفع سدیم در اندام هوایی است (Davenport *et al.*, 2005). غلظت بالای نمک، جذب آب را برای ریشه‌ها دشوار می‌کند و با ایجاد تنش آبی رشد رویشی و نیز صفات فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد (EL-Sabagh *et al.*, 2021). همچنین تنش شوری با ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، باعث آسیب گسترده سلولی و مهار فتوسنتز می‌شود (Woodrow *et al.*, 2012; Saddiq *et al.*, 2021). شوری همچنین محتوای یونی بافت‌های گیاهی را تغییر می‌دهد و جذب  $K^+$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $NH_4^+$  و  $NO_3^-$  را کاهش می‌دهد (Hu and Schmidhalter, 2005). تجمع  $Na^+$  و  $Cl^-$  باعث تنش اسمزی بالا (Foti *et al.*, 2019) و سمیت (Zanetti *et al.*, 2019) می‌شود، که به دستگاه فتوسنتزی و فیزیولوژیکی گیاه آسیب می‌رساند (EL-Sabagh *et al.*, 2019; Arif *et al.*, 2020; Noreen *et al.*, 2020). تنش شوری یک مشکل جدی در تولید محصولات زراعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است. بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار (۶

درصد) در سراسر جهان تحت تأثیر شوری به‌ویژه نمک‌های سدیمی قرار دارند (Rengasamy, 2006; Munns and Tester, 2008). در ایران نیز بیش از نیمی از زمین‌های قابل کشت را خاک‌های شور و سدیمی تشکیل می‌دهند به طوری که در برخی مناطق، شوری بالای خاک امکان کشت گندم را محدود کرده است. جوانه‌زنی بذر به عنوان مرحله‌ای مهم و حساس در فرآیند رشد گیاه محسوب می‌شود. زیرا این مرحله، استقرار گیاهچه و رشد آتی گیاه را تعیین می‌کند (James *et al.*, 2008). جوانه‌زنی سریع و استقرار گیاه برای افزایش رقابت در برابر علف‌های هرز مهم است. شوری با اعمال تنش اسمزی جذب آب را محدود و از جوانه‌زنی بذر جلوگیری می‌کند. این عواقب مجموعاً تقسیم و گسترش سلولی را مهار می‌کنند و همچنین فعالیت برخی از آنزیم‌های کلیدی را کاهش می‌دهند (EL-Hendawy *et al.*, 2019; Sabagh *et al.*, 2021). انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با افزایش تعداد صفات و یا شاخص‌ها، دشوار می‌شود. برای افزایش کارایی گزینش همزمان چندین صفت، شاخص‌هایی مانند شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (IGSI) (Zali *et al.*, 2015) و شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) (Olivoto and Nardino, 2020) مورد استفاده قرار می‌گیرند که برای محاسبه آن‌ها می‌توان از صفات مورفو-فیزیولوژیک و شاخص‌های مختلف استفاده کرد. در این دو شاخص، صفات مختلف مورد بررسی به یک کمیت واحد تبدیل شده و رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر بر اساس این کمیت انجام می‌گیرد. با توجه به نرمال‌سازی داده‌ها در محاسبه IGSI و MGIDI، صفات و یا شاخص‌های مورد استفاده برای مقایسه ژنوتیپ‌ها می‌توانند واحدهای متفاوت و ماهیت منفی و یا مثبت در گزینش داشته باشند (Zali *et al.*, 2015; Olivoto and Nardino, 2020). استفاده از شاخص IGSI برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر در تعدادی از مطالعات از جمله معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گندم نان (Yaghutipoor *et al.*, 2017)، کلزا (Zali *et al.*, 2019) و جنجنگ (Solat Petloo *et al.*, 2023)، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش آلومینیوم در گندم دوروم (Ramzi *et al.*, 2018)، تعیین ژنوتیپ‌های متحمل

صافی خشک شدند. بذور درون دو لایه کاغذ صافی با حجم لازم از هر یک از محلول‌های کلرید سدیم در سه تکرار کشت و پس از لوله کردن کاغذها و قرار دادن آنها در کیسه پلاستیکی، به مدت ۱۰ روز در دمای ۲۵ °C داخل ژرminatور انکوبه شدند (Ghassemi-Golezani and Dalil, 2011). پس از طی ۱۰ روز، از هر ژنوتیپ، ۱۰ نمونه انتخاب و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بعد از خشک کردن گیاهچه‌ها در آون (در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) با استفاده از ترازوی حساس اندازه‌گیری شدند.

به منظور ارزیابی تحمل به شوری، شاخص‌های کمی تحمل و حساسیت به تنش برای هر یک از ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس میانگین وزن خشک گیاهچه تمام ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش ( $\bar{Y}_p$ ) و تنش ( $\bar{Y}_s$ ) و میانگین وزن خشک گیاهچه هر ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش ( $Y_p$ ) و به‌طور جداگانه در هر یک از سطوح تنش شوری ( $Y_s$ ) با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

- شاخص شدت تنش (Fischer and Maurer, 1978):

$$SI = 1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \quad (1)$$

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

$$SSI = \frac{1 - (Y_s/Y_p)}{SI} \quad (2)$$

- شاخص تحمل (Rossielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_p - Y_s \quad (3)$$

- شاخص پایداری عملکرد (Bousslama and Chapagh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p} \quad (4)$$

- متوسط بهره‌وری (Hossain et al., 1990):

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad (5)$$

- میانگین هندسی بهره‌وری (Hossain et al., 1990):

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad (6)$$

- میانگین هارمونیک (Hossain et al., 1990):

$$HM = \frac{2(Y_p \times Y_s)}{(Y_p + Y_s)} \quad (7)$$

به تنش یخ‌زدگی در کلزا (Abdollahi Hesar et al., 2021) و شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب عدس در شرایط دیم (Amiri et al., 2021) استفاده شده است. شاخص MGIDI نیز برای تسهیل انتخاب ژنوتیپ‌ها توسط اولیوتو و ناردینو (Olivoto and Nardino, 2020) برای گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس اطلاعات چند صفت در توت‌فرنگی و نیز تسریع غربال ژنوتیپ‌های جو نسبت به تنش شوری در مراحل اولیه مورد استفاده قرار گرفته است (Pour-Aboughadareh et al., 2021).

یکی از روش‌های مناسب برای توسعه ارقام متحمل به شوری، پایش تنوع ژنتیکی درون ژرم‌پلاسم برای تحمل به شوری برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بهتر در شرایط تنش است (Ashraf and Akram, 2009; Rajabi, 2020). اثرات شوری بر رشد گیاه بسته به گونه گیاهی و همچنین ژنوتیپ‌های مختلف یک گونه می‌تواند متفاوت باشد (Mbinda and Kimtai, 2019). بنابراین، مطالعه واکنش گیاهان به شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه برای توسعه گیاهان متحمل به شوری و تولید عملکرد مناسب محصول در شرایط شور ضروری به نظر می‌رسد (Rajabi Dehnavi et al., 2020). از این‌رو، این تحقیق با هدف ارزیابی تحمل به تنش شوری ۵۰ ژنوتیپ گندم دوروم در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش و نیز گزینش ژنوتیپ‌های متحمل بر پایه شاخص‌های گزینش چند صفتی MGIDI و IGSI انجام گرفت.

## مواد و روش

در این پژوهش ۵۰ لاین و ژنوتیپ مختلف گندم دوروم (با منشأ CIMMYT) از مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهیه و از نظر تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه، به صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. سطوح شوری شامل غلظت‌های صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (به ترتیب معادل تقریباً ۱۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر) بود. برای هر تکرار، از هر ژنوتیپ تعداد ۳۰ بذر سالم انتخاب و بعد از ضدعفونی با محلول هیپوکلریت سدیم (۱۰ درصد) به مدت ۱۰ دقیقه با آب مقطر شستشو و با کاغذ

$$IGSI = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)} \quad (۱۳)$$

شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI): برای محاسبه شاخص MGIDI ابتدا ماتریس X (صفات) تغییر مقیاس داده شد، به طوری که همه مقادیر در محدوده صفر تا صد قرار گرفتند (Olivoto and Nardino, 2020). مقادیر تغییر مقیاس برای صفت ژام از ژنوتیپ آم (rX<sub>ij</sub>) از طریق معادله (۱۴) به دست آمد:

$$rX_{ij} = \frac{\eta_{nj} - \varphi_{nj}}{\eta_{oj} - \varphi_{oj}} \times (\theta_{ij} - \eta_{oj}) + \eta_{nj} \quad (۱۴)$$

که در آن،  $\eta_{oj}$  و  $\varphi_{oj}$  به ترتیب حداکثر و حداقل مقادیر صفت j،  $\eta_{nj}$  و  $\varphi_{nj}$  به ترتیب حداکثر (۱۰۰) و حداقل (صفر) مقادیر جدید برای صفت j پس از تغییر مقیاس و  $\theta_{ij}$  مقدار اصلی صفت ژام در ژنوتیپ آم است. مقادیر  $\eta_{nj}$  و  $\varphi_{nj}$  به صورت زیر انتخاب شدند. برای شاخص‌هایی که مقادیر کم‌تر آنها مد نظر است (TOL و SSI)،  $\eta_{nj} = 0$  و  $\varphi_{nj} = 100$  و برای صفاتی که مقادیر بالاتر آنها مورد نظر است ( $Y_s, Y_p$ ) شاخص‌های تحمل دیگر،  $\eta_{nj} = 100$  و  $\varphi_{nj} = 0$  استفاده شد. پس از تغییر مقیاس، یک جدول دو طرفه از مقادیر جدید (rX<sub>ij</sub>) به دست آمد که هر عضو از rX دارای محدوده صفر تا صد بود. در مرحله دوم، تجزیه و تحلیل عاملی برای گروه‌بندی صفات مرتبط با هر عامل انجام و سپس نمرات عاملی برای هر ژنوتیپ برآورد شد. مقادیر ویژه و بردارهای ویژه از ماتریس همبستگی ماتریس دو طرفه rX<sub>ij</sub> به دست آمد. نمرات عاملی تنها با در نظر گرفتن عواملی با مقادیر ویژه بالاتر از یک محاسبه و برای برآورد ضرایب نهایی، از چرخش واریماکس (Kaiser, 1958) استفاده شد. سپس نمرات ژنوتیپ‌ها به همراه ژنوتیپ ایده‌آل برای هر عامل به دست آمد. طبق تعریف (رابطه ۱۵)، ژنوتیپ ایده‌آل دارای بیش‌ترین مقدار مقیاس جدید (۱۰۰) برای همه صفات مورد بررسی است. در مرحله آخر شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) طبق رابطه (۱۵) محاسبه شد (Olivoto and Nardino, 2020):

$$MGIDI_i = \sqrt{\sum_{j=1}^f (\gamma_{ij} - \gamma_j)^2} \quad (۱۵)$$

که در آن MGIDI<sub>i</sub> شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل برای ژنوتیپ آم،  $\gamma_{ij}$  نمره عاملی ژنوتیپ آم در عامل یا فاکتور ژام (i=1, 2, ..., n و j=1, 2, ..., f)

- شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{Y_p \times Y_s}{(\bar{Y}_p)^2} \quad (۸)$$

- شاخص عملکرد (Gavuzzi et al., 1997):

$$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s} \quad (۹)$$

به منظور گزینش بهتر و کارآمدتر ژنوتیپ‌ها با استفاده از تمام شاخص‌های تحمل، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (IGSI) (Zali et al., 2015) و شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) (Olivoto and Nardino, 2020) محاسبه شدند. با توجه به معنی‌دار نبودن اثر متقابل شوری × ژنوتیپ از لحاظ تمام شاخص‌های تحمل مورد بررسی، شاخص‌های IGSI و MGIDI بر اساس میانگین ژنوتیپ‌های گندم دوروم در دو سطح شوری محاسبه و به همراه شاخص‌های تحمل از طریق رسم نقشه حرارتی مورد بررسی قرار گرفتند.

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (IGSI): ابتدا داده‌های اصلی از طریق رابطه ۱۰ نرمال شدند:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} \quad (۱۰)$$

که در آن، X<sub>ij</sub> مقدار شاخص (صفت) ژام در ژنوتیپ آم (i=1, 2, ..., n و j=1, 2, ..., m) است. سپس برای هر صفت یا شاخص، بهترین ژنوتیپ به عنوان ژنوتیپ ایده‌آل و ضعیف‌ترین به عنوان ژنوتیپ غیر ایده‌آل تعیین شدند. در گام بعدی فاصله هر ژنوتیپ از ژنوتیپ‌های ایده‌آل ( $d_i^+$ ) و ضعیف ( $d_i^-$ ) طبق روابط زیر محاسبه شد:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_i^+)^2} \quad (۱۱)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_i^-)^2} \quad (۱۲)$$

که در آن، r<sub>ij</sub> مقدار نرمال شده شاخص (صفت) ژام برای ژنوتیپ آم (i=1, 2, ..., n و j=1, 2, ..., m) و  $r_i^+$  و  $r_i^-$  به ترتیب مقدار نرمال شده ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ضعیف برای شاخص (صفت) آم است. در نهایت مقدار شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (IGSI) برای هر ژنوتیپ طبق رابطه ۱۳ محاسبه شد (Zali et al., 2015):

تعداد ژنوتیپ‌ها،  $f$  تعداد فاکتورها و  $\gamma_j$  نمره عاملی ژنوتیپ ایده‌آل در فاکتور  $j$ ام است. بر این اساس، ژنوتیپی با کمترین MGIDI به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر است. همچنین سهم هر فاکتور در شاخص MGIDI ژنوتیپ  $i$ ام که با  $(\omega_{ij})$  نشان داده می‌شود، طبق رابطه (۱۶) محاسبه شد:

$$\omega_{ij} = \frac{\sqrt{D_{ij}^2}}{\sum_{j=1}^f \sqrt{D_{ij}^2}} \quad (16)$$

که در آن  $D_{ij}$  فاصله ژنوتیپ  $i$ ام و ایده‌آل برای فاکتور  $j$ ام است. برای یک ژنوتیپ معین، عواملی با سهم کم‌تر، نشان می‌دهد که این ژنوتیپ از لحاظ صفات مهم درون آن عامل به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک است.

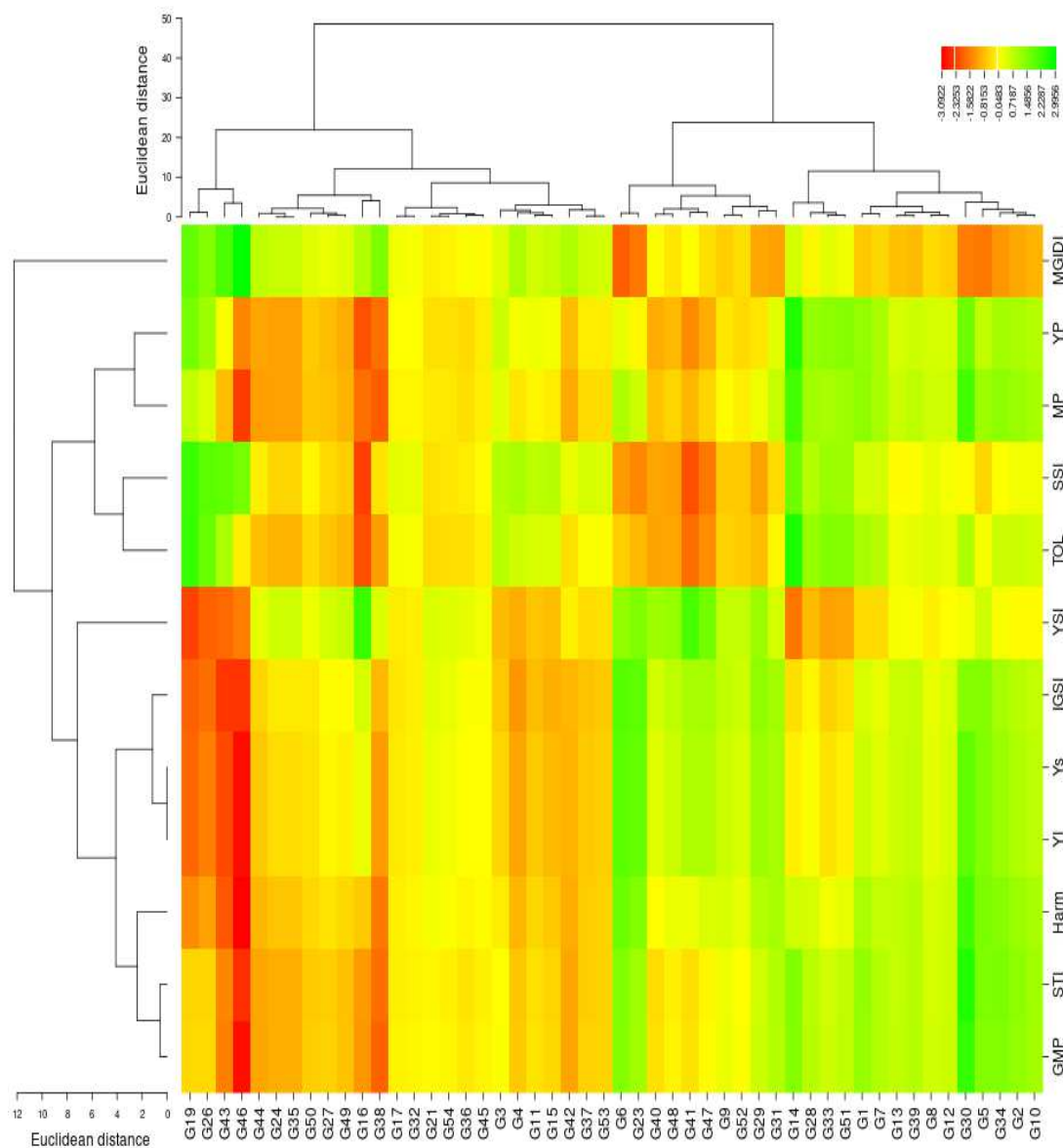
تجزیه عاملی بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و محاسبه شاخص‌های IGSI و MGIDI با استفاده از بسته نرم‌افزاری metan در محیط R انجام گرفت (Olivoto and Nardino, 2020). نقشه‌های حرارتی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تجزیه خوشه‌ای به روش کم‌ترین واریانس Ward با استفاده از نرم‌افزار برخط CIMMiner (<https://discover.nci.nih.gov/cimminer>) رسم شدند.

## نتایج و بحث

### شاخص‌های تحمل شوری در ژنوتیپ‌های گندم دوروم

با توجه به نقشه حرارتی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در میانگین شرایط شوری، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در دو گروه بزرگ قرار گرفتند (شکل ۱). گروه اول شامل ۲۵ ژنوتیپ بود که خود شامل سه زیر گروه بود. زیر گروه اول شامل چهار ژنوتیپ ۱۹، ۲۶، ۴۳ و ۴۶ بود که GMP، STI، MP، HM، Yp، YSI، YI و کم‌تر و مقادیر TOL و SSI بالایی داشتند که نشان می‌دهد در برابر شوری بسیار حساس بودند. این ژنوتیپ‌ها دارای IGSI بسیار پایین و مقادیر MGIDI بسیار بالا بودند که نشان می‌دهد از لحاظ جمیع صفات مورد بررسی جزو ژنوتیپ‌های ضعیف در شرایط شوری محسوب می‌شوند. زیر گروه دوم شامل هشت ژنوتیپ ۴۴، ۲۴، ۳۵، ۵۰، ۲۷، ۴۹، ۱۶ و ۳۸ بود که از لحاظ Yp، Ys، MP، STI، GMP، HM، YSI و YI مقادیر متوسط تا کم و از لحاظ TOL و SSI مقادیر نسبتاً بالایی داشتند و بنابراین این ژنوتیپ‌ها نیز حساسیت بالایی در برابر شوری داشتند. زیر گروه سوم نیز شامل ۱۳ ژنوتیپ ۱۷،





شکل ۱- توزیع صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم در میانگین شرایط تنش شوری بر اساس نقشه حرارتی  
Figure 1. Scattering of the studied traits in durum wheat genotypes under average salinity stress conditions based on heat map

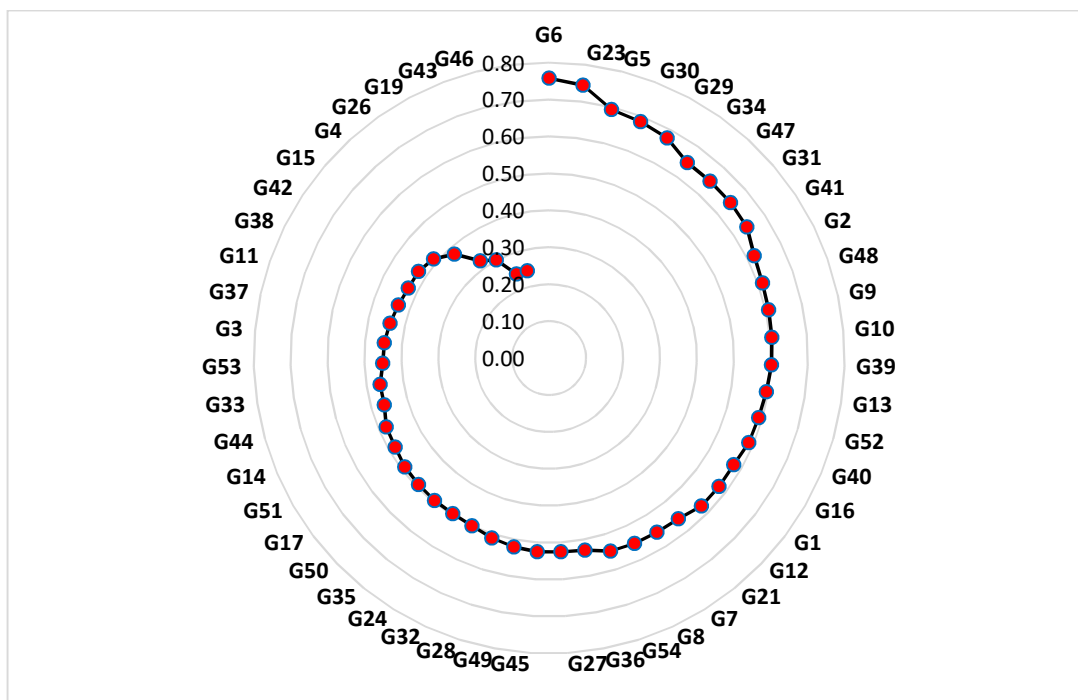
### شاخص گزینش IGSI

در این مطالعه از شاخص‌های انتخاب IGSI و MGIDI به منظور ارزیابی کلی پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف گندم دوروم در برابر شوری با استفاده از همه شاخص‌های تحمل و عملکرد در شرایط نرمال (Yp) و تنش (Ys) استفاده شد. در واقع این شاخص‌ها نتایج حاصل از بررسی همه متغیرها را با هم در نظر گرفته و تبدیل به یک شاخص واحد می‌کنند. با این کار بررسی پاسخ کلی ژنوتیپ‌ها و انتخاب ژنوتیپ‌های

متحمل راحت‌تر و کارآیی آن بیشتر می‌شود (Olivoto and Nardino, 2020). در مورد IGSI با توجه به این که مقدار آن بین صفر و یک است، هر چه مقدار این شاخص برای ژنوتیپی به یک نزدیک باشد، به این معنی است که فاصله آن از ژنوتیپ ایده‌آل منفی (ژنوتیپ نامطلوب) بیشتر بوده و آن ژنوتیپ از مطلوبیت بالایی برخوردار است. از سوی دیگر هرچه مقدار IGSI برای ژنوتیپی به صفر نزدیک باشد، فاصله آن از ژنوتیپ ایده‌آل منفی کمتر بوده و در نتیجه از

شاخص IGSI برای معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گندم نان (Yaghutipoor *et al.*, 2017) و کلزا (Zali *et al.*, 2019)، جغجنگ (Solat Petloo *et al.*, 2023)، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش آلومینیوم در گندم دوروم (Ramzi *et al.*, 2018)، تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش یخ‌زدگی در کلزا (Abdollahi Hesar *et al.*, 2021) و شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب عدس در شرایط دیم (Amiri *et al.*, 2021) گزارش شده است. این محققان گزارش کردند که استفاده از این شاخص، انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب را با ادغام آماره‌های مختلف راحت‌تر و کارآمدتر می‌کند.

مطلوبیت کم‌تری برخوردار است (Zali *et al.*, 2015; Solat Petloo *et al.*, 2022). رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد مطالعه بر اساس شاخص IGSI در میانگین سطوح شوری در شکل ۲ ارائه شده است. طبق نتایج، ژنوتیپ‌های ۶، ۲۳، ۵، ۳۰، ۲۹، ۳۴، ۴۷، ۳۱، ۴۱، ۲، ۴۸، ۹، ۱۰، ۳۹ و ۱۳ به ترتیب با داشتن بیش‌ترین مقادیر IGSI (بین ۰/۶۰ تا ۰/۸۰) جزو ژنوتیپ‌های مطلوب و منتخب در شرایط تنش محسوب شدند. در مقابل، ژنوتیپ‌های ۴۳، ۳۵، ۱۹، ۲۶، ۴، ۱۵، ۴۲، ۳۸ و ۱۱ با داشتن مقادیر IGSI کم‌تر از ۰/۴۵ جزو ژنوتیپ‌های خیلی ضعیف در میانگین سطوح شوری مورد مطالعه بودند (شکل ۲). استفاده از



شکل ۲- الگوی رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دوروم از کوچک به بزرگ بر اساس شاخص IGSI در میانگین شرایط شوری  
Figure 2. Ranking pattern of different durum wheat genotypes in ascending order based on IGSI index in average of salinity conditions

۹۹/۶ درصد از تغییرات کل بین شاخص‌های مورد مطالعه را توجیه کردند (جدول ۱). بزرگ‌ترین ضرایب عاملی پس از چرخش واریماکس در عامل اول مربوط به شاخص‌های Yp، Ys، MP، STI، GMP، HM و YI و در عامل دوم مربوط به Yp، YSI، SSI، TOL و Yp بود. بر اساس شاخص MGIDI هر چه ژنوتیپ مورد نظر مقدار MGIDI کم‌تری

### شاخص MGIDI

شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) با در نظر گرفتن شاخص‌های تحمل محاسبه شد. تجزیه عاملی بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که در میانگین شرایط تنش شوری، دو عامل اول با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک، به ترتیب با ۵۷/۶ و ۴۲/۰۰ درصد، حدود

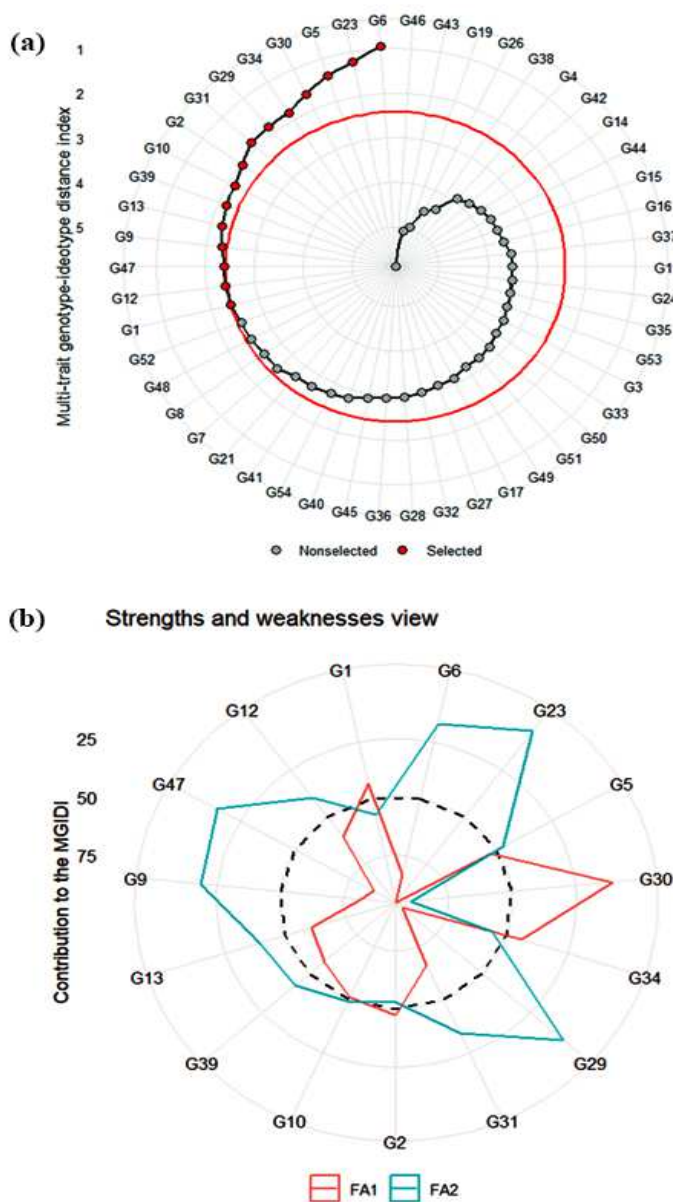
صفت درون آن عامل به ژنوتیپ ایده‌آل است. از سوی دیگر هر ژنوتیپ برای عامل‌هایی که سهم کم‌تری در آن‌ها نشان می‌دهد، از لحاظ صفات مهم درون آن عامل به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر است (Olivoto and Nardino, 2020). بر این اساس می‌توان گفت که ژنوتیپ‌های متحمل ۳۰، ۲، ۳۴ و ۱ برای صفاتی که بیشترین ضریب را در عامل اول دارند، مانند  $Y_p$ ،  $GMP$ ،  $MP$ ،  $Y_s$ ،  $STI$  و غیره بیش‌ترین مقدار را داشتند و از این لحاظ به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک بودند. از سوی دیگر ژنوتیپ‌های ۲۳، ۲۹، ۴۷، ۹ و ۶ که تحمل نسبتاً بالایی در شرایط تنش شوری داشتند، کم‌ترین سهم را برای عامل دوم دارا بودند و از این‌رو برای صفاتی مانند  $TOL$  و  $SSI$  که در عامل دوم ضریب بالایی داشتند، دارای کم‌ترین مقدار بوده و به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک بودند. به بیان دیگر، ژنوتیپ‌های ۳۰، ۲، ۳۴ و ۱ به لحاظ داشتن بیش‌ترین وزن گیاهچه در شرایط تنش و بدون تنش از درجه تحمل بالایی در برابر تنش شوری برخوردار بودند. در حالی که ژنوتیپ‌های ۲۳، ۲۹، ۴۷، ۹ و ۶ به دلیل این‌که کاهش وزن گیاهچه نسبتاً کم‌تری در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر داشتند، تحمل نسبتاً خوبی در برابر تنش شوری در مرحله رشد گیاهچه از خود نشان دادند.

داشته باشد، نشان می‌دهد که این ژنوتیپ فاصله کم‌تری از ژنوتیپ ایده‌آل و قرابت بیش‌تری با ژنوتیپ مطلوب دارد. بر عکس، هرچه مقدار  $MGIDI$  برای ژنوتیپی بیش‌تر باشد، به این معنی است که فاصله آن از ژنوتیپ ایده‌آل (متحمل) بیش‌تر بوده و حساسیت بیش‌تری به شرایط تنش دارد (Olivoto and Nardino, 2020).

بر اساس شاخص  $MGIDI$ ، در شرایط تنش با شدت گزينش ۳۰ درصد، ژنوتیپ‌های ۶، ۲۳، ۵، ۳۰، ۳۴، ۲۹، ۳۱، ۲، ۱۰، ۳۹، ۱۳، ۹، ۴۷، ۱۲، ۵۲، ۴۸ و ۱ به ترتیب با داشتن مقادیر  $MGIDI$  کم‌تر (بین ۰/۹۰ تا ۲/۵۰) به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب و منتخب در شرایط تنش شوری انتخاب شدند. در مقابل، ژنوتیپ‌های ۴۶، ۴۳، ۱۹، ۲۶، ۳۸، ۴، ۴۲، ۱۴، ۴۴، ۱۵، ۱۶، ۳۷، ۱۱، ۲۴ و ۳۵ با داشتن مقادیر  $MGIDI$  بیش‌تر از ۳/۵۰ جزو ژنوتیپ‌های خیلی ضعیف در میانگین سطوح شوری مورد مطالعه بودند (شکل ۳-a). بر اساس محاسبه سهم عامل‌های اول و دوم در شاخص  $MGIDI$  هر ژنوتیپ ( $\omega_{i1}$  و  $\omega_{i2}$ ) نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های منتخب در شکل ۳-b نشان داده شده است. بر اساس این شکل، هر چه سهم یک عامل در توجیه نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های منتخب کم‌تر و نزدیک به لبه خارجی (خارج از خط نقطه‌چین) باشد، نشان‌دهنده نزدیک بودن

جدول ۱- بارهای عاملی پس از چرخش واریماکس به همراه مقدار ویژه و واریانس هر عامل در تحلیل عاملی در میانگین سطوح شوری  
Table 1. Factor loadings after Varimax rotation along with eigen value and percentage of variance justified by each factor in factor analysis at average salinity levels

Variable	Factor1	Factor2
Stress sensitivity index (SSI)	-0.24	-0.97
Tolerance index (TOL)	0.24	-0.97
Seedling dry weight (g) under non-stress conditions ( $Y_p$ )	-0.62	0.78
Seedling dry weight (g) under stressed conditions ( $Y_s$ )	-0.88	-0.47
Stress tolerance index (STI)	-0.98	0.17
Yield stability (YSI)	-0.24	-0.97
Average productivity index (MP)	-0.86	0.50
Geometric mean productivity index (GMP)	-0.99	0.16
Yield index (YI)	-0.88	-0.47
Harmonic mean (HM)	-0.98	-0.17
Eigen value	5.76	4.20
Variance (%)	57.60	42.00
Cumulative variance (%)	57.60	99.60



شکل ۳- الگوی رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم دوروم به‌ترتیب نزولی بر اساس شاخص MGIDI (a) و نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های انتخابی (b) در میانگین شرایط تنش شوری

Figure 3. The ranking pattern of durum wheat genotypes in descending order based on MGIDI index (a) and the strengths and weaknesses view of the selected genotypes (b) in average salinity stress conditions

که بیش‌ترین درصد افزایش به‌میزان ۲۰/۹ درصد برای شاخص STI مشاهده شد، در حالی‌که برای دو شاخص SSI و TOL که مقادیر کم‌تر آنها نشانگر تحمل بالای ژنوتیپ‌ها است، بیش‌ترین درصد کاهش نسبت به میانگین کل به‌میزان ۵/۳ درصد مربوط به شاخص SSI بود (جدول ۲). این مقدار

مقایسه شاخص‌های حساسیت و تحمل به شوری در بین ژنوتیپ‌های منتخب گندم دوروم با میانگین ژنوتیپ‌های انتخاب شده و ژنوتیپ شاهد در شدت‌های مختلف‌ گزینش در جدول ۲ ارایه شده است. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های منتخب با میانگین کل در شدت گزینش ۳۰ درصد نشان داد

ژنوتیپ‌های غیر منتخب و نیز میانگین کل داشت، همگی Yp بالاتری نسبت به میانگین ژنوتیپ‌های غیر منتخب و نیز میانگین کل داشتند. از لحاظ میانگین ژنوتیپ‌های منتخب بالاتر از میانگین ژنوتیپ‌های غیر منتخب و نیز میانگین کل بود. همچنین، ژنوتیپ‌های منتخب علاوه بر عملکرد در شرایط تنش (Ys) بالاتر، دارای شاخص متوسط بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص عملکرد (YI)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) بالاتری نسبت به میانگین ژنوتیپ‌های غیرمنتخب و نیز میانگین کل بودند، به‌غیر از ژنوتیپ ۴۷ که شاخص متوسط بهره‌وری (MP) پایین‌تری از میانگین ژنوتیپ‌های غیرمنتخب داشت.

برای شدت گزینش ۱۰ درصد با ۵ ژنوتیپ انتخابی (۶، ۲۳، ۵، ۳۰ و ۳۴)، ۳۳/۸۰ و ۸/۱۰ درصد به‌ترتیب برای شاخص STI و SSI بود. این امر نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های منتخب دارای شاخص تحمل تنش STI و نیز عملکرد در شرایط تنش (Ys) بالاتری از میانگین کل بودند و شاخص MGIDI توانست به‌عنوان یک شاخص گزینش مبتنی بر چند شاخص در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر مفید باشد. ژنوتیپ شاهد (رقم دهدشت) که خود یکی از ژنوتیپ‌های منتخب در این آزمایش (ژنوتیپ ۱) بود، دارای عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) بالاتری در مقایسه با ژنوتیپ‌های منتخب دیگر به‌غیر از ژنوتیپ ۳۰ بود. ژنوتیپ‌های منتخب به‌جز ژنوتیپ ۴۷ که Yp کم‌تری در مقایسه با میانگین

جدول ۲- مقایسه شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش در ژنوتیپ‌های منتخب گندم دوروم با میانگین ژنوتیپ‌های منتخب و ژنوتیپ شاهد و

نیز دیفرانسیل انتخاب بر اساس شاخص MGIDI در سه شدت گزینش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد

Table 2. Comparison of sensitivity and tolerance indices of selected durum wheat genotypes to salinity with the average of selected genotypes and the control genotype as well as selection differential based on MGIDI index in three selection intensities of 10, 20 and 30 percent

Genotype	YP	Ys	TOL	SSI	YSI	MP	GMP	HM	YI	STI	MGIDI	IGSI
G6	38.00	19.00	19.00	0.84	0.50	28.50	26.87	25.33	1.27	0.53	0.95	0.76
G23	36.33	18.67	17.66	0.82	0.51	27.50	26.04	24.66	1.25	0.50	1.23	0.74
G5	40.33	18.00	22.33	0.93	0.45	29.17	26.94	24.89	1.20	0.53	1.40	0.69
G30	45.33	18.84	26.50	0.98	0.42	32.08	29.22	26.61	1.26	0.62	1.61	0.69
G34	42.00	17.34	24.67	0.99	0.41	29.67	26.98	24.54	1.16	0.53	1.81	0.65
G29	35.33	17.34	18.00	0.86	0.49	26.33	24.75	23.26	1.16	0.45	1.83	0.68
G31	38.33	17.00	21.33	0.93	0.44	27.67	25.53	23.55	1.14	0.48	1.84	0.65
G2	41.67	16.83	24.84	1.00	0.40	29.25	26.48	23.98	1.13	0.51	2.02	0.62
G10	41.00	16.50	24.50	1.00	0.40	28.75	26.01	23.53	1.10	0.50	2.14	0.61
G39	39.67	16.33	23.34	0.99	0.41	28.00	25.45	23.14	1.09	0.47	2.17	0.60
G13	39.00	16.17	22.84	0.98	0.41	27.58	25.11	22.86	1.08	0.46	2.24	0.60
G9	35.33	16.17	19.17	0.91	0.46	25.75	23.90	22.18	1.08	0.42	2.31	0.61
G47	32.00	16.84	15.17	0.80	0.53	24.42	23.21	22.06	1.13	0.39	2.39	0.65
G12	39.00	15.84	23.17	1.00	0.41	27.42	24.85	22.52	1.06	0.45	2.39	0.58
G1	43.00	16.17	26.84	1.05	0.38	29.58	26.36	23.50	1.08	0.51	2.42	0.58
Selected (10%)	40.40	18.37	22.03	0.91	0.46	29.38	27.21	25.21	1.23	0.54	1.40	0.71
Selected (20%)	39.80	17.58	22.22	0.93	0.44	28.69	26.43	24.35	1.18	0.51	1.70	0.67
Selected (30%)	39.09	17.13	21.95	0.94	0.44	28.11	25.85	23.77	1.15	0.49	1.92	0.65
Check variety (Dehdasht, G1)	43.00	16.17	26.84	1.05	0.38	29.58	26.36	23.50	1.08	0.51	2.42	0.58
Non-selected genotypes (70%)	36.05	14.01	22.03	1.01	0.40	25.03	22.38	20.04	0.94	0.37	3.44	0.48
Total genotypes	36.96	14.95	22.01	0.99	0.41	25.96	23.42	21.16	1.00	0.41	2.98	0.53
Selection differential (10%)	9.30	22.86	0.09	-8.10	11.65	13.21	16.20	19.13	22.86	33.80	-53.02	33.62
Selection differential (20%)	7.68	17.62	0.93	-5.79	8.33	10.54	12.85	15.07	17.62	26.25	-42.97	26.52
Selection differential (30%)	5.76	14.60	-0.25	-5.33	7.67	8.30	10.38	12.36	14.60	20.88	-35.68	22.25

دو شاخص در کل ژنوتیپ‌ها و نیز در ژنوتیپ‌های انتخابی وجود دارد، به طوری که ضریب تبیین بین این دو شاخص در کل ژنوتیپ‌ها ۰/۹۲ بود که نشان دهنده گزینش ژنوتیپ‌های یکسان توسط این دو شاخص است. البته منفی بودن همبستگی بین آنها به این دلیل است که مقادیر پایین MGIDI و مقادیر بالای IGSI برای شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعداد ژنوتیپ‌های غیر مشترک انتخابی توسط این دو شاخص در شدت‌های گزینش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حداکثر ۲ ژنوتیپ بود که البته این ژنوتیپ‌های انتخاب نشده تفاوت قابل ملاحظه‌ای با ژنوتیپ‌های انتخاب شده قبل از خود (جدول ۳) نداشتند.

از نظر شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و تحمل (TOL)، میانگین ژنوتیپ‌های منتخب (با شدت گزینش ۳۰ درصد) تفاوت قابل توجهی با میانگین ژنوتیپ‌های غیر منتخب و نیز میانگین کل نداشت. با این حال، ژنوتیپ‌های ۴۷، ۲۳، ۲۹ و ۶ دارای مقادیر SSI و TOL کم‌تری در مقایسه با ژنوتیپ‌های غیر منتخب و میانگین کل بودند که نشان می‌دهد این ژنوتیپ‌ها در شرایط شوری، کاهش عملکرد کم‌تری در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر و به‌ویژه ژنوتیپ شاهد داشتند. مقایسه بین دو شاخص MGIDI و IGSI از لحاظ ژنوتیپ‌های انتخابی در شدت‌های گزینش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و برآورد میزان همبستگی بین آنها (جدول ۳) نشان داد که همبستگی بالایی بین مقادیر این

جدول ۳- ژنوتیپ‌های انتخابی توسط دو شاخص MGIDI و IGSI در شدت‌های گزینش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و همبستگی بین آنها  
Table 3. Selected genotypes by MGIDI and IGSI indices at selection intensities of 10, 20, and 30% and Pearson correlation between them

Selection intensity	Selected genotypes number	Based on MGIDI	Based on IGSI	Uncommon genotypes selected	Pearson correlation coefficient	Coefficient of determination (R <sup>2</sup> )
(10%)	5	6, 23, 5, 30, 34	6, 23, 5, 30, 29	1	0.964	0.93
(20%)	10	6, 23, 5, 30, 34, 29, 31, 2, 10, 39	6, 23, 5, 30, 29, 34, 47, 31, 2, 48	2	0.975	0.95
(30%)	15	6, 23, 5, 30, 34, 29, 31, 2, 10, 39, 13, 9, 47, 12, 1	6, 23, 5, 30, 29, 34, 47, 31, 41, 2, 48, 9, 10, 39, 13	2	0.936	0.89
Total					0.956	0.92

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل توجهی در بین ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد مطالعه از لحاظ شاخص‌های تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای وجود داشت که می‌توان از تنوع ژنتیکی موجود برای افزایش تحمل به شوری در برنامه‌های اصلاحی این گیاه زراعی استفاده کرد. همچنین شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (IGSI) با داشتن همبستگی بالا در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر کارآمد بودند و استفاده از این شاخص‌ها در برنامه‌های اصلاحی برای گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب می‌تواند مفید و مؤثر باشد.

### تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

### رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

### اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

## References

- Abdollahi Hesar, A., Sofalian, O., Alizadeh, B., Asghari, A. and Zali, H. 2021. Investigation of frost stress tolerance in some promising rapeseed genotypes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), pp. 270-288. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.13109>.
- Amiri, R., Pezeshkpour, P. and Karami, I. 2021. Identification of lentil desirable genotypes using multivariate statistical methods and selection index of ideal genotype under rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding*, 13(39), pp. 140-151. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/jcb.13.39.140>.
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A. and Hayat, S. 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156, pp. 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>.
- Ashraf, M. and Akram, N.A. 2009. Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: an analytical comparison. *Biotechnology Advances*, 27(6), pp. 744-752. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.05.026>.
- Bousslama, M. and Schapaugh, W.T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, pp. 933-937. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x>.
- Davenport, R., James, R.A., Zakrisson-Plogander, A., Tester, M. and Munns, R. 2005. Control of sodium transport in durum wheat. *Plant Physiology*, 137(3), pp. 807-818. <https://doi.org/10.1104/pp.104.057307>.
- El-Hassouni, K., Belkadi, B., Filali-Maltouf, A., Tidiane-Sall, A., Al-Abdallat, A., Nachit, M., Bassi, F.M. 2019. Loci controlling adaptation to heat stress occurring at the reproductive stage in durum wheat. *Agronomy*, 9(8), pp. 414. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080414>.
- EL-Sabagh, A., Hossain, A., Barutçular, C., Islam, M.S., Ratnasekera, D., Kumar, N., Meena, R.S., Gharib, H.S., Saneoka, H. and Teixeira da Silva, J.A. 2019. Drought and salinity stress management for higher and sustainable canola (*Brassica napus* L.) production: A critical review. *Australian Journal of Crop Science*, 13(01), pp. 88-97. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.01.p1284>.
- EL-Sabagh, A., Islam, M.S., Skalicky, M., Ali Raza, M., Singh, K., Anwar Hossain, M., Hossain, A. Mahboob, W., Iqbal, M.A., Ratnasekera, D., Singhal, A.K., Ahmed, S., Kumari, A., Wasaya, A., Sytar, O., Brestic, M., ÇIG, F., Erman, M., Habib-Ur-Rahman, M., Ullah, N. and Arshad, A. 2021. Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: Adaptation and management strategies. *Frontiers in Agronomy*, 3, 661932. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.661932>.
- El-Hendawy, S.E., Al-Suhaibani, N., Hassan, W.M., Dewir, Y.H., Elsayed, S., Al-Ashkar, I., Abdella, K.A. and Schmidhalter, U. 2019. Evaluation of wavelengths and spectral reflectance indices for high-throughput assessment of growth, water relations and ion contents of wheat irrigated with saline water. *Agricultural Water Management*, 212, 358-377. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.009>.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed.). 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. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, pp. 897-912. <https://doi.org/10.1071/AR9780897>.
- Foti, C., Khah, E.M. and Pavli, O.I. 2019. Germination profiling of lentil genotypes subjected to salinity stress. *Plant Biology*, 21(3), pp. 480-486. <https://doi.org/10.1111/plb.12714>.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R.G., Ricciardi, G.L. and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Journal of Plant Science*, 77, pp. 523-531. <https://doi.org/10.4141/P96-130>.
- Ghassemi-Golezani, K. and Dalil, B. 2011. Seed ageing and field performance of maize under water stress. *African Journal of Biotechnology*, 10(80), pp. 18377-18380. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2154>.
- Hossain, A.B.S., Sears, A.G., Cox T.S. and Paulsen, G.M. 1990. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*, 30, pp. 622-627. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000030030x>.



- Hu, Y. and Schmidhalter, U. 2005.** Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), pp. 541-549. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420516>.
- International Grains Council. 2021.** IGC, International Grains Council. Accessed on 15 January 2023. Available online: <https://www.igc.int/en/default.aspx>.
- James, R.A., von Caemmerer, S., Condon, A.T., Zwart, A.B. and Munns, R. 2008.** Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. *Functional Plant Biology*, 35(2), pp. 111-123. <https://doi.org/10.1071/FP07234>.
- Kaiser, H.F. 1958.** The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23, pp. 187-200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>.
- Mbinda, W. and Kimtai, M. 2019.** Evaluation of morphological and biochemical characteristics of sorghum [*Sorghum bicolor* [L.] Moench] varieties in response salinity stress. *Annual Research and Review in Biology*, 33(1), pp. 1-9. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v33i130110>.
- Mohammadi, R. 2016.** Efficiency of yield-based drought tolerance indices to identify tolerant genotypes in durum wheat. *Euphytica*, 211, pp. 71-89. <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1727-x>.
- Munns, R. and Tester, M. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, pp. 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>.
- Noreen, S., Ahmad, S., Fatima, Z., Zakir, I., Iqbal, P., Nahar, K. and Hasanuzzaman, M. 2020.** Abiotic Stresses Mediated Changes in Morphophysiology of Cotton Plant. In: Ahmad, S. and Hassanuzzaman, M. (Eds.). *Cotton Production and Uses*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1472-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1472-2_18).
- Olivoto, T. and Nardino, Am., 2020.** MGIDI: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics*, 10, pp. 981-1093. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btaa981>.
- Olivoto, T., Diel, M.I., Schmidt D. and Lúcio, A.D.C. 2021.** Multivariate analysis of strawberry experiments: Where are we now and where can we go? *BioRxiv*, 2020, 12(30) pp. 1-10. <https://doi.org/10.1101/2020.12.30.424876>.
- Pour-Aboughadareh, A., Sanjani, S. and Nikkhah-Chamanabad, H. 2021.** Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages. *Bulletin of the National Research Centre*, 45, pp. 117-128. <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00576-0>.
- Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M., Ludwiczak, A., Cardenas Perez, S. and Piernik, A. 2020.** Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Agronomy*, 10(6), pp. 859. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060859>.
- Ramzi, E., Asghari, A., Khomari, S. and Mohammaddoust-e-Chamanabad H.R. 2018.** Investigation of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. durum Desf) lines for tolerance to aluminum stress condition. *Journal of Crop Breeding*, 10(25), pp. 63-72. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.10.25.63>.
- Rengasamy, P. 2006.** Soil Salinity and Sodcity. In: Stevens, D., Kelly, J., McLaughlin, M. and Unkovich, M. (Eds). *Growing Crops with Reclaimed Waste Water*. CSIRO Publishing. pp. 125-138.
- Rosielle, A.A. and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environments. *Crop Science*, 21(6), pp. 943-946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>.
- Saddiq, M.S., Afzal, I., Iqbal, S., Hafeez, M.B. and Raza, A. 2021.** Low leaf sodium content improves the grain yield and physiological performance of wheat genotypes in saline-sodic soil. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 51, pp. <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5167663>.
- Solat Petloo, N., Asghari Zakaria, R., Ebadi, A. and Sharifi Ziveh, P. 2022.** Selection of cow cockle (*Vaccaria hispanica*) ecotypes based on agronomic traits under different irrigation regimes. *Journal of Crop Breeding*, 14(43), pp. 135-144. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/jcb.14.43.135>.
- Solat Petloo, N., Asghari Zakaria, R., Ebadi, A. and Sharifi Ziveh, P. 2023.** Evaluation of yield and drought tolerance indices of cow cockle (*Vaccaria hispanica* (Mill.) Rauschert) ecotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(2), pp. 517-530. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2023.4779.2069>.



- Subira, J., Peña, R.J., Álvaro, F., Ammar, K., Ramdani, A. and Royo, C. 2014.** Breeding progress in the pasta-making quality of durum wheat cultivars released in Italy and Spain during the 20th Century. *Crop Pasture Science*, 65, pp. 16-26. <https://doi.org/10.1071/CP13238>.
- Woodrow, P., Ciarmiello, L.F., Annunziata, M.G., Pacifico, S., Iannuzzi, F., Mirto, A., D'Amelia, L., Dell'Aversana, E., Piccolella, S., Fuggi, A. and Carillo, P. 2017.** Durum wheat seedling responses to simultaneous high light and salinity involve a fine reconfiguration of amino acids and carbohydrate metabolism. *Physiologia Plantarum*, 159(3), pp. 290-312. <https://doi.org/10.1111/ppl.12513>.
- Xynias, I.N., Mylonas, I., Korpetis, E.G., Ninou, E., Tsaballa, A., Avdikos, I.D. and Mavromatis, A.G. 2020.** Durum wheat breeding in the Mediterranean region: Current status and future prospects. *Agronomy*, 10(3), pp. 432. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030432>.
- Yaghutipoor, A., Farshadfar, E. and Saeedi, M. 2017.** Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes using new mixed method. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(2), pp. 247-256. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.581>.
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A. and Hoseini, S.M. 2015.** Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum-An International Journal*, 7(3), pp. 703-711.
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A. and Enayati Shariatpanahi, M. 2019.** Identifying drought tolerant canola genotypes using selection index of ideal genotype. *Journal of Crop Breeding*, 11(29), pp. 117-126. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.11.29.117>.
- Zanetti, F., Zegada-Lizarazu, W., Lambertini, C. and Monti, A. 2019.** Salinity effects on germination, seedlings and full-grown plants of upland and lowland switchgrass cultivars. *Biomass and Bioenergy*, 120, pp. 273-280. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.031>.