

Evaluation of salinity tolerance of some durum wheat genotypes at germination and seedling growth stage using multivariate selection indices

F. Saber¹, R. Asghari Zakaria^{2*}, N. Zare², S. Farzaneh³

1. MSc Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

3. Associated Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Moghan, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

Received 13 April 2023; Accepted 11 July 2023

Extended abstract

Introduction

Durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) is the second most crucial wheat and the tenth main crop globally. Salinity stress prevents water absorption from the soil and disturbs the ionic balance of the cell. As a result, metabolic processes such as seed germination, seedling growth, flowering, and seed formation are inhibited. The purpose of this study is to the evaluation of the effects of salinity stress on the germination and seedling growth of different durum wheat genotypes, as well as to identify and select tolerant genotypes using multivariate selection indices such as the ideal genotype selection index (IGSI) and the multi-trait genotype–ideotype distance index (MGIDI).

Materials and methods

In this research, 50 different durum wheat lines and genotypes were prepared by the Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran and were evaluated in terms of tolerance to salinity in the germination stage, as a factorial experiment, based on a completely randomized design with three replications. Salinity levels included 0, 75, 150, and 300 mM sodium chloride concentrations. After one day, counting the number of germinated seeds was started daily. Based on the data obtained from counting the germinated seeds, various parameters of seed germination, including coefficient of the velocity of germination (CVG), germination index (GI), average germination duration (MGT), average daily germination (MDG) and final germination percentage (FGP) were calculated. In addition, after ten days, the characteristics such as root and shoot length and dry weight of root and shoot were measured for each genotype. Also, using the seedling height and dry weight, and the seed germination percentage, the seedling vigor was calculated. The MGIDI index of the studied genotypes was calculated based on factor scores of the first three factors with eigenvalues greater than one in factor analysis based on principal component analysis (PCA). The IGSI index also was calculated considering all the traits.

* Corresponding author: Rasool Asghari Zakaria; E-Mail: r-asghari@uma.ac.ir



Results and discussion

The analysis of variance showed significant differences ($p < 0.01$) between salinity levels and between genotypes in terms of all traits. But, the interaction effect of salinity \times genotype was not significant for all studied traits. The comparison of the salinity levels showed that the germination components and the length and weight of the root and shoot decreased by increasing salinity levels. Factor analysis based on principal component analysis (PCA) showed that in normal conditions and salinity (150 mM NaCl) stress conditions, the first three factors with eigenvalues greater than one explained 83.89 and 84.97 percent of the total variance among the traits, respectively. According to the MGIDI index, under normal conditions based on the selection intensity of 30%, genotypes G30, G39, G51, G19, G14, G2, G31, G34, G5, G48, G7, G26, G1, G23, and G33 have the lowest values and were favorable. In 150 mM salinity condition, genotypes G9, G2, G29, G5, G12, G47, G30, G1, G31, G10, G34, G41, G13, G49, and G16 were the best genotypes with the lowest MGIDI values. According to the IGSI index in the 150 mM salinity level, genotypes G5, G29, G2, G30, G23, G9, G12, G1, G10, G41, G47, G34, G48, G16, and G13 have the highest values (between 0.60 to 0.80) were considered as desirable genotypes. On the contrary, genotypes G43, G46, G4, G26, G15, G19, G8, G14, G35, G44, G24, and G42, having IGSI values less than 0.40, were considered weak genotypes in this condition.

Conclusion

In this study, IGSI and MGIDI indices were used to evaluate the response of different durum wheat genotypes to salinity using all studied traits. In general, the results of the present research showed a considerable genetic diversity among the studied durum wheat genotypes in terms of salinity tolerance at the germination stage, which can be used in the breeding programs of this valuable crop. Also, the IGSI and the MGIDI indices were effective in identifying superior genotypes based on all the studied traits. Using these indices in breeding programs to select desirable genotypes can be fruitful and effective.

Keywords: Factor analysis, Multivariate selection index, Salt stress, Tetraploid wheat

ارزیابی تحمل شوری تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم دوروم در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه با استفاده از شاخص‌های انتخاب چند متغیره

فاطمه صابر^۱، رسول اصغری زکریا^{۲*}، ناصر زارع^۲، سلیم فرزانه^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲. استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۳. دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	گندم دوروم دومین گونه زراعی مهم گندم است که زراعت آن بخصوص در مرحله جوانه‌زنی تحت تأثیر شوری خاک
تحلیل عاملی	یا آب قرار می‌گیرد. این مطالعه با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل گندم دوروم نسبت به تنش شوری در مرحله
تنش شوری	جوانه‌زنی و رشد گیاهچه با استفاده از شاخص‌های انتخاب چندمتغیره مانند شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (IGSI)
شاخص انتخاب چند متغیره	و شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) انجام گرفت. در این مطالعه تعداد ۵۰ لاین و ژنوتیپ
گندم تتراپلوئید	مختلف گندم دوروم از نظر تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب
تاریخ دریافت:	طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. سطوح شوری شامل غلظت‌های صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی
۱۴۰۲/۰۱/۲۴	مولار کلرید سدیم بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین سطوح شوری و نیز بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ تمامی صفات
تاریخ پذیرش:	اختلاف معنی‌داری ($p < 0.01$) وجود داشت، ولی برهمکنش شوری و ژنوتیپ در هیچ‌یک از صفات مورد مطالعه معنی
۱۴۰۲/۰۴/۲۰	دار نشد. مقایسه میانگین سطوح شوری نشان داد که با افزایش سطح شوری، مقادیر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و نیز طول
تاریخ انتشار:	و وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش داشت. محاسبه شاخص MGIDI نشان داد که در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، با
پائیز ۱۴۰۳	احتساب شدت گزینش ۳۰ درصد، ژنوتیپ‌های با کد G2، G9، G12، G5، G29، G2، G9، G10، G31، G1، G30، G47، G12، G5، G29،
۱۷(۳): ۶۰۳-۶۱۸	G34، G41، G13، G49، G16 و G41 با داشتن کمترین مقادیر MGIDI و فاصله کمتر از ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپ‌های
	مطلوبی از لحاظ شاخصه‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بودند. بر اساس شاخص IGSI نیز در این سطح شوری
	ژنوتیپ‌های با کد G29، G5، G2، G30، G23، G9، G12، G1، G10، G41، G47، G34، G48، G16 و G13 به
	ترتیب با داشتن بیشترین مقادیر IGSI (بین ۰/۶ تا ۰/۸) و فاصله از ژنوتیپ ضعیف‌تر بیشتر ژنوتیپ‌های برتر محسوب
	شدند. استفاده از این شاخص‌ها در برنامه‌های اصلاحی برای گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب می‌تواند مفید باشد.

مقدمه

بالای Na^+ و Cl^- در سلول بر ظرفیت فتوسنتزی تأثیر منفی می‌گذارد و با تأثیر بر تعادل یونی، جذب و انتقال عناصر مغذی در سلول‌ها را مختل می‌کند (Arif et al., 2020; Hasanuzzaman et al., 2014).

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) دومین گونه زراعی مهم گندم و دهمین محصول زراعی مهم دنیا است که در ۱۳/۵ میلیون هکتار با تولید جهانی ۳۳/۸

شوری مشکل بزرگی برای کشاورزی و تولید محصولات زراعی است که سبب ممانعت و اختلال در رشد و نمو محصولات می‌شود. تنش شوری پتانسیل آب را کاهش می‌دهد و مانع جذب آب از خاک می‌شود و نیز تعادل یونی سلول را مختل می‌کند که در نتیجه آن فرآیندهای متابولیکی مانند جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، گلدهی و تشکیل دانه مهار می‌شوند (Hasegawa et al., 2000). علاوه بر این، سمیت غلظت‌های

غربال ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی و زنده‌مانی گیاهچه یکی از روش‌های مورد استفاده برای بررسی تحمل ژنوتیپ‌های گندم دوروم در برابر سطوح شوری بالا است که در آن سطوح بالای شوری (۳۰۰-۲۰۰ میلی‌مولار NaCl) برای غربال تعداد زیادی از ژنوتیپ‌های گندم دوروم در مرحله جوانه‌زنی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Munns and James, 2003). حسن این روش این است که در یک دوره آزمایشی محدود (بین یک تا دو هفته)، می‌توان ژنوتیپ‌های با تحمل بالا را در مرحله جوانه‌زنی شناسایی کرده و در مطالعات بعدی برای بررسی ویژگی‌های اختصاصی مورد استفاده قرار داد. در گندم دوروم مطالعات محدودی در مورد ارزیابی تعداد ژنوتیپ زیاد در برابر تنش شوری انجام گرفته است. در پژوهشی اثر تنش شوری حاصل از NaCl و پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) در دامنه پتانسیل اسمزی ۰/۲- تا ۸- مگاپاسکال بر رشد اولیه دو رقم گندم دوروم بررسی و مشاهده شد که تنش حاصله از محلول NaCl نسبت به محلول PEG تأثیر منفی کمتری بر سرعت جوانه‌زنی، درصد نهایی جوانه‌زنی و سرعت استقرار گیاهچه در هر دو ژنوتیپ گندم دوروم داشت (Sayar et al., 2010). هادی و همکاران (Hadi et al., 2010) با بررسی تأثیر غلظت‌های ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl بر تحمل شوری هفت ژنوتیپ گندم دوروم اعلام کردند که کلیه ژنوتیپ‌ها حساسیت بالایی به سطوح بالای شوری (بالتر از ۲۰۰ میلی‌مولار) داشتند. بوررلی و همکاران (Borrelli et al., 2018) نیز با بررسی تحمل به شوری (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl) و تعیین تغییرات در صفات مورفوفیزیولوژیکی و محتوای مواد معدنی و متابولیت‌ها در پنج ژنوتیپ گندم دوروم اعلام کردند که علاوه بر یک پاسخ حفاظت‌شده (مانند تجمع پرولین) که در همه ژنوتیپ‌ها مشترک بود، یک پاسخ اختصاصی ژنوتیپی شامل تجمع برخی از متابولیت‌های خاص مشاهده می‌شود که به نظر می‌رسد مربوط به تحمل متفاوت ژنوتیپ‌ها در برابر شوری باشد. بر این اساس، مطالعه واکنش ژنوتیپ‌های مختلف 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).

میلیون تن کشت می‌شود (International Grains Council, 2021). گندم دوروم از لحاظ ترکیبات شیمیایی، میزان پروتئین، املاح و ویتامین‌ها و رنگ‌دانه‌های کارتنوئیدی نیز غنی‌تر از گندم نان است. همچنین بالاتر بودن میزان کلسیم، آهن، منیزیم، فسفر، پتاسیم، روی و مس در دانه گندم دوروم نسبت به گندم نان و برنج قهوه‌ای و سفید بیانگر اهمیت ارزش غذایی این محصول است. علاوه بر سمولینای گندم دوروم که در تهیه محصولات خمیری از قبیل ماکارونی، پاستا، لازانیا و نودل به کار می‌رود، از گندم دوروم در تهیه محصولات دیگری همچون بلغور نیز استفاده می‌گردد (Carrillo et al., 2000; Subira et al., 2014). از آنجایی که گندم دوروم عمدتاً در شرایط دیم در حوزه مدیترانه کشت می‌شود، بهره‌وری آن عمیقاً تحت تأثیر بارندگی و تنش‌های غیر زیستی (خشکی، سرما و شوری) قرار دارد (Xynias et al., 2020). گندم دوروم تحمل زیادی به نمک ندارد و با افزایش سطح شوری خاک به ۱۰۰ میلی‌مولار نمک طعام، تولید تجاری آن به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (Munns et al., 2006). گندم دوروم جزء حساس‌ترین غلات مناطق معتدله نسبت به شوری است که دلیل آن عدم وجود ژن مسئول دفع سدیم در اندام هوایی است (Davenport et al., 2005).

مرحله جوانه‌زنی بذر مرحله مهمی برای تشکیل گیاهچه است. نوک ریشه اغلب اولین محلی است که در معرض مواد شیمیایی پخش‌شده در خاک و آب قرار می‌گیرد (Aysen and Uncuoglu, 2012). شوری با اعمال تنش اسمزی و سمیت یونی از جوانه‌زنی بذر جلوگیری می‌کند. این عواقب معمولاً تقسیم و گسترش سلولی را مهار می‌کنند و همچنین فعالیت برخی از آنزیم‌های کلیدی را کاهش می‌دهند (EL-Hendawy et al., 2019; EL Sabagh et al., 2021). تحت تنش شوری بالا، جوانه‌زنی بذر، رشد و استقرار گیاهچه و طول ریشه و ساقه به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (Murillo-Amador et al. 2002; Liang et al. 2018). علاوه بر این، تنش اکسیداتیو اعمال‌شده از طریق تولید سریع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)^۱، پراکسیداسیون لیپیدی را تحریک می‌کند که در نهایت پایداری و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Rajabi Dehnavi et al., 2020; Kumari and Kaur, 2020; EL Sabagh et al., 2021).

¹ Reactive oxygen species (ROS)

بذر دانشگاه محقق اردبیلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. سطوح شوری شامل غلظت‌های صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود. برای هر تکرار، از هر ژنوتیپ تعداد ۳۰ بذر سالم انتخاب و بعد از ضدعفونی با محلول هیپوکلریت سدیم (۱ درصد) به مدت ۱۰ دقیقه، با آب مقطر شستشو و با کاغذ 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 انکوبه شدند (Ghassemi-Golezani and Dalil, 2011). بعد از یک روز، شمارش روزانه تعداد بذور جوانه‌زده آغاز شد. آبدی کشت‌ها در طول آزمایش یک‌بار به‌صورت محلول‌پاشی با آب مقطر به‌صورت یکنواخت در روز ششم انجام گرفت. از روی داده‌های به‌دست‌آمده از شمارش بذور جوانه‌زده، معیارهای مختلف جوانه‌زنی بذر شامل ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG)^۳، شاخص جوانه‌زنی (GI)^۴، میانگین مدت جوانه‌زنی (MGT)^۵، میانگین جوانه‌زنی روزانه (MDG)^۶ و درصد جوانه‌زنی نهایی (FGP)^۷ محاسبه گردید (Almansouri et al., 2001). علاوه بر این، با توجه به رشد تقریباً یکنواخت گیاهچه‌ها در هر تیمار، پس از طی ۱۰ روز از هر ژنوتیپ، پنج نمونه انتخاب و صفات طول ریشه‌چه و ساقه‌چه برحسب میلی‌متر، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بعد از خشک کردن در آون (در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) برحسب میلی‌گرم با استفاده از ترازوی حساس اندازه‌گیری شدند. همچنین با استفاده از داده‌های طول و وزن خشک گیاهچه و قابلیت جوانه‌زنی بذر، شاخص‌های طولی و وزنی بنیه گیاهچه^۸ با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید (Bewley and Black, 1994).

شاخص طولی بنیه بذر = طول گیاهچه × قابلیت جوانه‌زنی

[۱]

شاخص وزنی بنیه بذر = وزن خشک گیاهچه × قابلیت جوانه‌زنی

[۲]

به‌منظور بررسی بهتر و کارآمدتر تحمل شوری ژنوتیپ‌ها با استفاده از تمام صفات، شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل

در مطالعات بالا به‌ندرت از شاخص‌های چند متغیره برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی استفاده شده است. شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) (Olivoto and Nardino, 2020) و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (IGSI) (Zali et al., 2015) برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر پیشنهاد شده است. این شاخص‌ها بر انتخاب ژنوتیپ‌های برتر که در آن‌ها صفات متعدد اندازه‌گیری شده است، تمرکز دارند. در این شاخص‌ها می‌توان به‌طور هم‌زمان تعداد زیادی از صفات را در نظر گرفت و نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های مورد آزمایش را در مورد آن‌ها نشان داد. این شاخص‌ها نتایج حاصل از بررسی همه صفات را با هم در نظر گرفته و تبدیل به یک کمیت واحد می‌کنند. با این کار بررسی پاسخ کلی ژنوتیپ‌ها و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل راحت‌تر و کارایی آن بیشتر می‌شود (Olivoto and Nardino, 2020). اولیوتو و همکاران (Olivoto et al., 2021)، در توت‌فرنگی و پوراپوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh et al., 2021) در جو زراعی از شاخص MGIDI برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر استفاده کردند. از شاخص IGSI نیز به‌منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی (Zali et al., 2019)، ادغام پارامترهای تجزیه پایداری (Zali et al., 2015; Najafi Mirak et al., 2018) و ادغام صفات مختلف مورفولوژیک و فنولوژیک (Abdollahi Hesari et al., 2020) استفاده شده است. هدف از این مطالعه شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل گندم دوروم در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه با استفاده از شاخص‌های انتخاب چندمتغیره IGSI و MGIDI با لحاظ تمام صفات مورد مطالعه بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۵۰ لاین و ژنوتیپ مختلف گندم دوروم (با منشأ CIMMYT) (جدول ۱ ضمیمه) از مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی گچساران تهیه و از نظر تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی، به‌صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی

⁵ Mean germination time (MGT)

⁶ Mean daily germination (MDG)

⁷ Final germination percentage

⁸ Seedling dry weight vigor index and Seedling length vigor index

¹ Multi-trait genotype-ideotype distance index (MGIDI)

² Ideotype genotype selection index (IGSI)

³ Coefficient of velocity of germination (CVG)

⁴ Germination Index (GI)

مرحله دوم تجزیه و تحلیل عاملی بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای گروه‌بندی صفات مرتبط با هر عامل و سپس برآورد نمرات هر ژنوتیپ برای این عامل‌ها بود. مقادیر ویژه و بردارهای ویژه از ماتریس همبستگی ماتریس دوطرفه rX_{ij} به دست آمد. نمرات عاملی تنها با در نظر گرفتن عواملی با مقادیر ویژه بالاتر از یک به دست آمد. چرخش واریماکس برای برآورد ضرایب نهایی استفاده شد. سپس نمرات ژنوتیپ‌ها به همراه ژنوتیپ ایده‌آل برای هر عامل به دست آمد. طبق تعریف (رابطه ۵) ژنوتیپ ایده‌آل دارای بیشترین مقدار مقیاس جدید (۱۰۰) برای همه صفات مورد تجزیه و تحلیل است. در مرحله آخر شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) طبق رابطه ۸ محاسبه شد.

$$MGIDI_i = \sqrt{\sum_{j=1}^f (\gamma_{ij} - \gamma_j)^2} \quad [8]$$

که در آن MGIDI_i شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل برای ژنوتیپ i ام، γ_{ij} نمره ژنوتیپ i ام در فاکتور j ام ($j=1, 2, \dots, f$ و $i=1, 2, \dots, n$) است که g تعداد ژنوتیپ‌ها، f تعداد فاکتورها و γ_j نمره ژنوتیپ ایده‌آل در فاکتور j ام است. بر این اساس، ژنوتیپ با کمترین MGIDI به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر است و با محاسبه آن تمام صفات مورد تجزیه و تحلیل می‌گیرد (Olivoto and Nardino, 2020).

تجزیه‌ی واریانس داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و تجزیه عاملی بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و محاسبه شاخص‌های IGSI و MGIDI با استفاده از بسته نرم‌افزار metan در محیط R انجام گرفت (Olivoto and Nardino, 2020). ترسیم نقشه‌های حرارتی و انجام تجزیه خوشه‌ای بر اساس روش Ward و فاصله اقلیدسی با استفاده از ابزار

CIMMiner (<https://discover.nci.nih.gov/cimminer>) صورت

گرفت. برای تعیین تعداد گروه‌ها از طریق تجزیه تابع تشخیص از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. دیفرانسیل انتخاب بر اساس شاخص MGIDI بر اساس درصد اختلاف میانگین گروه منتخب از میانگین کل و میانگین ژنوتیپ‌های غیرمنتخب طبق روابط ۹ و ۱۰ محاسبه شد.

$$SD_o \% = \frac{X_s - X_o}{X_o} \times 100 \quad [9]$$

$$SD_{ns} \% = \frac{X_s - X_{ns}}{X_{ns}} \times 100 \quad [10]$$

(IGSI) و شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) محاسبه شدند. برای شاخص IGSI ابتدا داده‌های اصلی (X_{ij}) طبق رابطه ۳ نرمال‌سازی شدند (Zali et al., 2015).

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} \quad [3]$$

سپس برای هر صفت یا شاخص بهترین ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ ایده‌آل و ضعیف‌ترین ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ ضعیف تعیین شدند. در گام بعدی فاصله هر ژنوتیپ از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (d_i^+) و ضعیف (d_i^-) طبق روابط ۴ و ۵ محاسبه شدند.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_i^+)^2} \quad [4]$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_i^-)^2} \quad [5]$$

که در آن r_{ij} مقدار نرمال شده ژنوتیپ i ام برای صفت j ام ($i=1, 2, \dots, n$ و $j=1, 2, \dots, m$) و r_i^+ و r_i^- به ترتیب مقدار نرمال شده ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ضعیف برای صفت i ام است. در نهایت مقدار IGSI برای هر ژنوتیپ طبق رابطه ۶ محاسبه شد.

$$IGSI = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)} \quad [6]$$

شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI)

برای محاسبه شاخص MGIDI ابتدا مقیاس ماتریس داده‌ها (X) طبق رابطه ۷ تغییر داده شد تا همه مقادیر دارای محدوده ۰-۱۰۰ باشند و ماتریس (rX_{ij}) به دست آمد (Olivoto and Nardino, 2020).

$$rX_{ij} = \frac{\eta_{nj} - \phi_{nj}}{\eta_{oj} - \phi_{oj}} \times (\theta_{ij} - \eta_{oj}) + \eta_{nj} \quad [7]$$

که در آن η_{nj} و ϕ_{nj} به ترتیب حداکثر (۱۰۰) و حداقل (صفر) مقادیر جدید برای صفت j پس از تغییر مقیاس، η_{oj} و ϕ_{oj} به ترتیب حداکثر و حداقل مقادیر صفت j ام و θ_{ij} مقدار اصلی صفت i ام در ژنوتیپ i ام هستند. مقادیر η_{nj} و ϕ_{nj} برای صفاتی که مقادیر کمتر آن‌ها موردنظر است (میانگین مدت جوانه‌زنی)، $\eta_{nj}=0$ و $\phi_{nj}=100$ و برای صفاتی که مقادیر بالاتر آن‌ها موردنظر است (بقیه صفات)، $\eta_{nj}=100$ و $\phi_{nj}=0$ انتخاب شدند. پس از تغییر مقیاس، یک جدول دوطرفه از مقادیر جدید (rX_{ij}) به دست آمد.

Promila and (2015) و کاهش استفاده از ذخایر بذری (Kumar, 2000) در طی جوانه‌زنی می‌شود.

با توجه به معنی‌دار نبودن برهمکنش شوری و ژنوتیپ، میانگین ۵۰ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط شاهد و سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌عنوان سطح استاندارد از طریق رسم نقشه‌های حرارتی و تجزیه خوشه‌ای (شکل ۱a، b) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نقشه حرارتی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، با در نظر گرفتن فاصله اقلیدسی ۲۵ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در چهار گروه قرار گرفتند. گروه اول شامل ۱۹ ژنوتیپ (ژنوتیپ‌های G13، G12، G15، G10، G1، G31، G23، G39، G5، G2، G34، G19، G30، G28، G19، G14، G51، G26، G33) بود که هم از لحاظ مؤلفه‌های جوانه‌زنی و هم از لحاظ رشد و بنیه گیاهچه وضعیت مطلوب‌تری داشته و مقادیر بالایی را به خود اختصاص دادند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های G37، G35، G43 و G4 بود که هم از لحاظ مؤلفه‌های جوانه‌زنی مانند سرعت جوانه‌زنی (CVG)، شاخص جوانه‌زنی (GI)، درصد جوانه‌زنی نهایی (GP) و درصد جوانه‌زنی روزانه (MDG) مقادیر کمتری داشته و میانگین مدت جوانه‌زنی (MTG) بالایی داشتند و هم از لحاظ رشد گیاهچه ضعیف بوده و طول و وزن ریشه‌چه، ساقه‌چه و بنیه گیاهچه پایینی داشتند. گروه سوم در دو زیرگروه شامل ۲۷ ژنوتیپ بودند که با آنکه درصد و شاخص‌های جوانه‌زنی بالایی داشتند ولی از لحاظ رشد گیاهچه ضعیف بودند (شکل ۱-a). این گروه‌بندی از طریق تجزیه تابع تشخیص نیز مورد تأیید واقع شد.

از سوی دیگر در شرایط شوری ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl نیز ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس برش در فاصله اقلیدسی ۲۵ در سه گروه قرار گرفتند (شکل ۱-b). گروه اول شامل ۲۴ ژنوتیپ G9، G2، G48، G36، G39، G23، G36، G37، G5، G30، G29، G12، G10، G50 و G49، G1، G7، G30، G29، G16، G31، G47، G13، G34، G41، G10، G51 بود که هم از لحاظ مؤلفه‌های جوانه‌زنی و هم از لحاظ رشد و بنیه گیاهچه وضعیت مطلوب‌تری داشته و مقادیر بالایی را به خود اختصاص دادند. گروه دوم شامل ۱۴ ژنوتیپ G19، G24، G2، G45، G53، G42، G3، G33، G27، G21، G52، G17، G28 و G32 بود که از لحاظ مؤلفه‌های جوانه‌زنی و رشد و بنیه گیاهچه مقادیر متوسطی داشتند. در نهایت گروه سوم شامل ۱۱ ژنوتیپ بعدی بود که هم از لحاظ مؤلفه‌های جوانه‌زنی مانند سرعت جوانه‌زنی (CVG)، شاخص جوانه‌زنی

در این روابط SD_{ns} و SD_o به ترتیب درصد دیفرانسیل انتخاب نسبت به میانگین کل و میانگین ژنوتیپ‌های غیرمنتخب، X_s ، میانگین گروه منتخب، X_o ، میانگین کل و X_{ns} میانگین ژنوتیپ‌های غیرمنتخب هستند.

نتایج و بحث

تأثیر شوری بر جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر سطوح شوری و نیز اثر ژنوتیپ بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده شامل ضریب سرعت جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، تعداد بذور جوانه‌زده در روز، میانگین مدت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، بنیه طولی گیاهچه و بنیه وزنی گیاهچه معنی‌دار بود. برهمکنش شوری و ژنوتیپ در هیچ‌یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نشد (جدول ۱).

جدول مقایسه میانگین سطوح شوری (جدول ۱) نشان داد که تمامی صفات مورد بررسی در سطح شاهد (صفر) بیشترین مقدار را دارا بودند. با افزایش سطح شوری مؤلفه‌های جوانه‌زنی، طول و وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش داشت. بین سطح شاهد و سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری از لحاظ صفات درصد جوانه‌زنی نهایی (FGP)، میانگین جوانه‌زنی روزانه (MDG)، طول ریشه‌چه (RL)، وزن ریشه‌چه (RW)؛ وزن گیاهچه (SDW) و شاخص وزنی و بیگور گیاهچه (SDWV) مشاهده نشد. نتایج تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که شوری شروع جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد و رشد گیاهچه و شاخص‌های جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد (El Sabagh et al., 2021). شوری به دلیل کاهش پتانسیل آب خاک باعث تنش اسمزی می‌شود (James et al., 2008) در ادامه بسته به شدت شوری، یون‌های Na^+ در بافت‌های مختلف گیاه تجمع می‌یابند و باعث تنش اسمزی و نیز سمیت یونی می‌شوند (Munns and Tester, 2008). در واقع، شوری با ایجاد پتانسیل اسمزی کمتر محیط، جذب آب توسط بذرها را به تأخیر می‌اندازد و در نتیجه جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد (Jamil et al., 2011). علاوه بر این، شوری به دلیل سمیت یونی باعث اختلال در فعالیت آنزیم‌ها می‌شود که این اختلال در فعالیت‌های آنزیمی باعث تغییرات عمده مانند تغییر متابولیسم اسیدهای نوکلئیک و پروتئین (Dantas et al., 2007)، برهم زدن تعادل هورمونی (Ryu and Cho,

درصد جوانه‌زنی نهایی (GP) و روز تا جوانه‌زنی (GI)، مقادیر کمتری داشته و میانگین مدت جوانه‌زنی (MDG) بالایی داشتند و هم از لحاظ رشد گیاهچه ضعیف بوده و طول و وزن ریشه‌چه، ساقه‌چه و بنیه گیاهچه پایینی را به خود اختصاص دادند (شکل ۱-ب). این گروه‌بندی از طریق تجزیه تابع تشخیص نیز تأیید شد.

جدول ۱. جدول تجزیه واریانس و مقایسه میانگین سطوح مختلف شوری از لحاظ شاخص‌های جوانه‌زنی بذور و رشد گیاهچه ژنوتیپ‌های گندم دوروم

Table 1. Analysis of variance and the means comparison of the different salinity levels for the germination indices and seedling growth of durum wheat genotypes

S.O.V	درجه آزادی منبع تغییر	df	CVG	GI	FGP	MDG	MTG	RL	RW
Salt (S)	شوری	3	7.57**	2261.37**	6913.75**	141.49**	53.49**	1850.48**	12292.95**
Genotype (G)	ژنوتیپ	49	0.05**	63.27**	126.11**	2.58**	0.45**	4.50**	94.49*
S × G	شوری × ژنوتیپ	147	0.01 ^{ns}	19.47 ^{ns}	48.37 ^{ns}	0.99 ^{ns}	0.09 ^{ns}	1.53 ^{ns}	40.92 ^{ns}
Error	اشتباه	400	0.01	14.38	39.75	0.81	0.09	1.41	45.56
CV%			13.13	16.51	6.76	6.76	18.61	19.19	19.90
		0	0.957 ^a	28.76 ^a	98.60 ^a	14.09 ^a	1.05 ^d	9.86 ^a	39.22 ^a
	سطوح شوری	75	0.785 ^b	21.64 ^b	97.24 ^a	13.89 ^a	1.33 ^c	8.95 ^b	41.56 ^a
	Salinity (mM)	150	0.610 ^c	21.68 ^b	93.62 ^b	13.38 ^c	1.70 ^b	4.28 ^c	34.30 ^b
		300	0.436 ^d	19.79 ^c	83.58 ^c	11.94 ^c	2.43 ^a	1.68 ^d	20.60 ^c

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

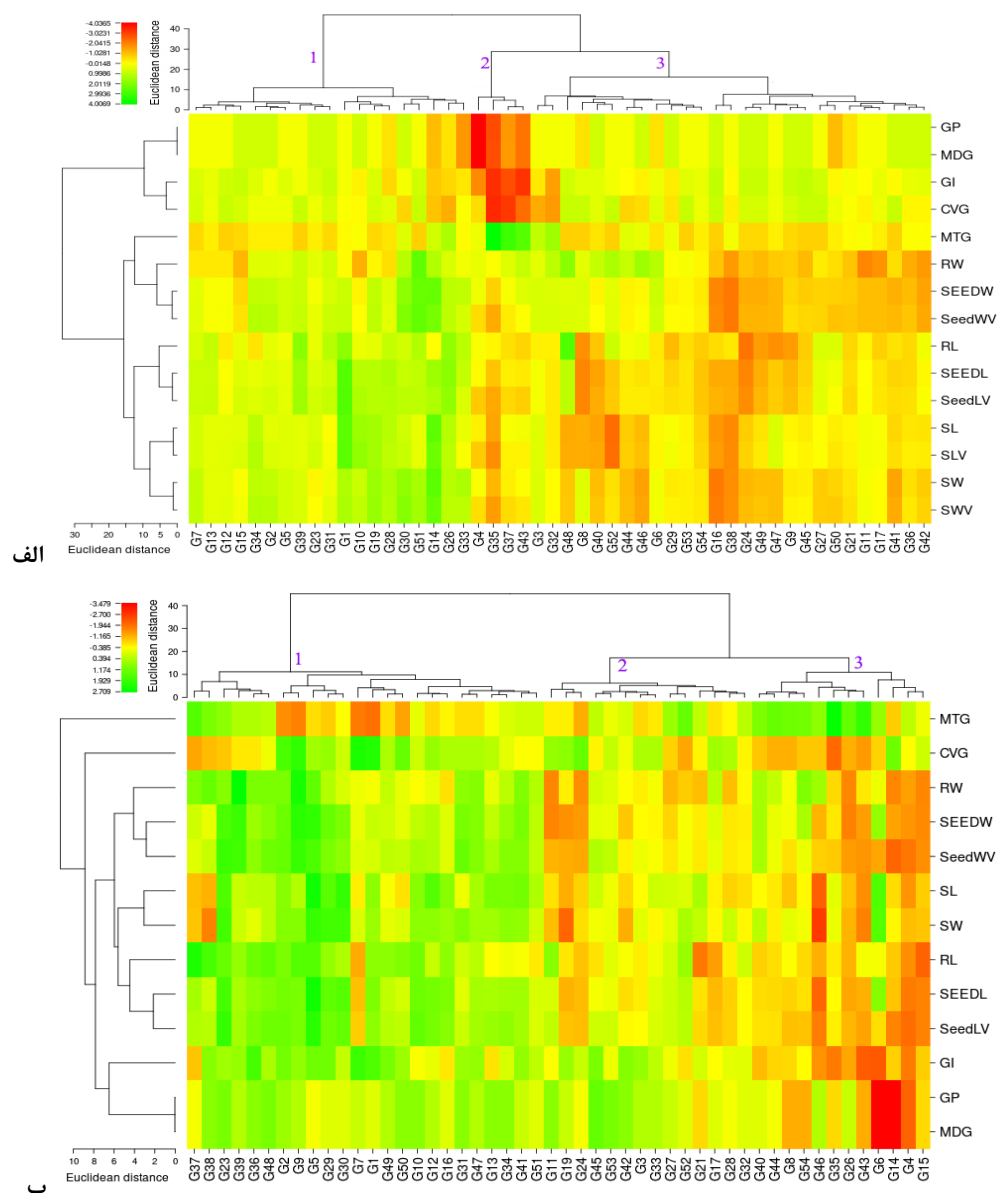
S.O.V	درجه آزادی منبع تغییر	df	SDL	SDLV	SDW	SDWV	SL	SW
Salt (S)	شوری	3	6928.34**	6992.59**	66099.32**	76359.98**	1626.06**	23121.54**
Genotype (G)	ژنوتیپ	49	9.58*	11.68**	286.15*	246.00*	3.30**	61.81*
S × G	شوری × ژنوتیپ	147	4.52 ^{ns}	4.37 ^{ns}	118.44 ^{ns}	120.96 ^{ns}	1.83 ^{ns}	38.14 ^{ns}
Error	اشتباه	400	4.07	4.74	128.14	119.08	1.08	33.06
CV%			20.21	22.56	19.44	19.75	24.25	23.24
		0	17.86 ^a	17.59 ^a	74.18 ^a	73.00 ^a	8.00 ^a	36.96 ^a
	سطوح شوری	75	12.85 ^b	12.51 ^b	73.94 ^a	71.83 ^a	5.90 ^b	32.11 ^b
	Salinity (mM)	150	6.95 ^c	6.51 ^c	55.04 ^b	51.28 ^b	2.67 ^c	20.74 ^c
		300	2.29 ^d	1.99 ^d	29.76 ^c	24.90 ^c	0.61 ^d	9.16 ^d

^{ns}، غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار هستند.

MGT میانگین زمان جوانه‌زنی (day)؛ GI شاخص جوانه‌زنی؛ FGP درصد جوانه‌زنی نهایی؛ CVG ضریب سرعت جوانه‌زنی (day-1)؛ MDG میانگین جوانه‌زنی روزانه (/)؛ RL طول ریشه‌چه (cm)؛ SL طول ساقه‌چه (cm)؛ SDL طول گیاهچه (cm)؛ RW وزن ریشه‌چه (mg)؛ SW وزن ساقه‌چه (mg)؛ SDW وزن گیاهچه (mg)؛ SDLV شاخص طولی ویگور گیاهچه؛ و SDWV شاخص وزنی ویگور گیاهچه.

ns, non-significant, * and ** significant at 5% and 1% probability level, respectively. Nonsimilar letters show a statistically significant (p < 0.05) difference between salinity levels

MGT, mean germination time (day); GI, germination index; FGP, final germination percentage (%); CVG, coefficient of velocity of germination (day-1); MDG, average daily germination (%); RL, root length (cm); SL, shoot length (cm); SDL, seedling length (cm); RW, root weight (mg); SW, shoot weight (mg); SDW, seedling weight (mg); SDLV, length index of seedling vigor; and SDWV, weight index of seedling vigor



شکل ۱. نقشه حرارتی نشان‌دهنده توزیع صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم و گروه‌بندی آن‌ها بر اساس روش وارد در شرایط بدون تنش (الف) و تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار (ب). شماره‌ها مربوط به گروه می‌باشند

Fig. 1. Heatmap showing the scattering of studied traits in durum wheat genotypes and their clustering based on Ward method under non-stress conditions (a) and 150 mM NaCl salinity level (b). The numbers show the clusters

شاخص‌گزینش *IGSI*
 شکل ۲ مقادیر شاخص *IGSI* ژنوتیپ‌ها را در دو سطح شاهد و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار نشان می‌دهد. در سطح شاهد ژنوتیپ‌های G1, G14, G26, G30, G39, G19, G28, G33, G34, G31, G7, G5 و G10 با داشتن مقادیر بالای *IGSI* (بین ۰/۶ تا ۰/۷۵) جزء ژنوتیپ‌های مطلوب و منتخب در این شرایط محسوب شدند. این ژنوتیپ‌ها دارای مقادیر فاصله از ژنوتیپ ضعیف بالایی بودند. در مقابل، ژنوتیپ‌های G38, G35, G24, G16, G49, ۴۱،

شکل ۱. نقشه حرارتی نشان‌دهنده توزیع صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم و گروه‌بندی آن‌ها بر اساس روش وارد در شرایط بدون تنش (الف) و تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار (ب). شماره‌ها مربوط به گروه می‌باشند

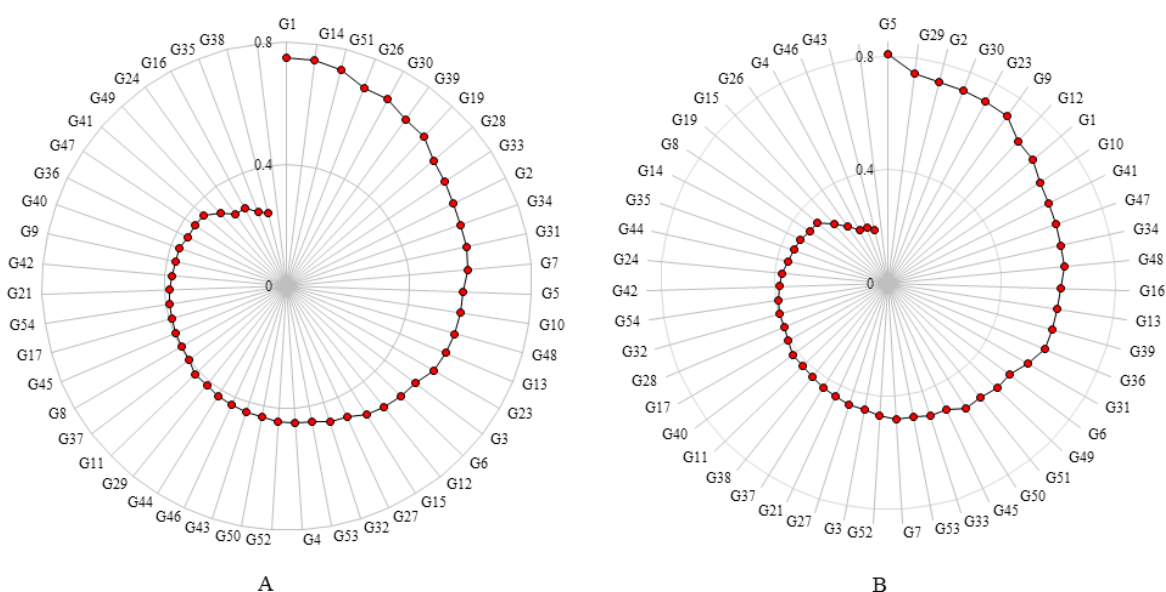
شکل ۲. مقادیر شاخص *IGSI* ژنوتیپ‌ها را در دو سطح شاهد و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار نشان می‌دهد. در سطح شاهد ژنوتیپ‌های G1, G14, G26, G30, G39, G19, G28, G33, G34, G31, G7, G5 و G10 با داشتن مقادیر بالای *IGSI* (بین ۰/۶ تا ۰/۷۵) جزء ژنوتیپ‌های مطلوب و منتخب در این شرایط محسوب شدند. این ژنوتیپ‌ها دارای مقادیر فاصله از ژنوتیپ ضعیف بالایی بودند. در مقابل، ژنوتیپ‌های G38, G35, G24, G16, G49, ۴۱،

شکل ۱. نقشه حرارتی نشان‌دهنده توزیع صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم و گروه‌بندی آن‌ها بر اساس روش وارد در شرایط بدون تنش (الف) و تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار (ب). شماره‌ها مربوط به گروه می‌باشند

شکل ۲. مقادیر شاخص *IGSI* ژنوتیپ‌ها را در دو سطح شاهد و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار نشان می‌دهد. در سطح شاهد ژنوتیپ‌های G1, G14, G26, G30, G39, G19, G28, G33, G34, G31, G7, G5 و G10 با داشتن مقادیر بالای *IGSI* (بین ۰/۶ تا ۰/۷۵) جزء ژنوتیپ‌های مطلوب و منتخب در این شرایط محسوب شدند. این ژنوتیپ‌ها دارای مقادیر فاصله از ژنوتیپ ضعیف بالایی بودند. در مقابل، ژنوتیپ‌های G38, G35, G24, G16, G49, ۴۱،

(Zali et al., 2019) و کلزا (Yaghotipoor et al., 2017)، شناسایی جغجگک (Solat et al., 2022, 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 اعلام کردند که استفاده از این شاخص، انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب را با ادغام آماره‌های مختلف راحت‌تر و کارآمدتر می‌کند.

با داشتن مقادیر IGSI کمتر از ۰/۴ جزء ژنوتیپ‌های ضعیف در این سطح شوری بودند (شکل ۲-ب). استفاده از شاخص IGSI برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر در تعدادی از مطالعات گزارش شده است. به‌طور مثال، از شاخص IGSI برای ادغام آماره‌های مختلف پایداری برای معرفی ارقام پایدار در گندم دوروم (Najafi Mirak et al., 2018) و کلزا (Zali et al., 2015) استفاده شد. همچنین استفاده از این شاخص برای معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گندم نان



شکل ۲. الگوی رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دوروم از کوچک به بزرگ بر اساس شاخص IGSI در شرایط بدون تنش (a) و سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار (b)

Fig. 2. Ranking pattern of different durum wheat genotypes in ascending order based on IGSI index in normal (a) and 150 mM salinity level (b)

طولی گیاهچه بود. عامل دوم ۳۱/۶۸ درصد از واریانس کل را توجیه نمود که در این عامل هم میانگین زمان جوانه‌زنی (MTG)، شاخص جوانه‌زنی (GI)، درصد جوانه‌زنی نهایی، ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG) و میانگین جوانه‌زنی روزانه (MDG) بیشترین ضرایب عاملی را داشتند. عامل سوم نیز با توجیه ۱۰/۶۵ درصد از واریانس کل دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت برای وزن ریشه‌چه (RW)، وزن گیاهچه و ویگور وزنی گیاهچه (SDWV) بود. بر این اساس، در شرایط نرمال، شاخص MGIDI ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر پایه نمرات عاملی این سه عامل محاسبه شد. طبق شاخص MGIDI هر چه ژنوتیپ مورد نظر مقدار MGIDI کمتری

شاخص MGIDI

شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) با در نظر گرفتن صفات مورد مطالعه محاسبه شد. تجزیه عاملی بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که در شرایط نرمال و نیز در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، سه عامل اول با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک، به ترتیب ۸۳/۸۹ و ۸۴/۹۷ درصد از تغییرات کل بین صفات مورد مطالعه را توجیه می‌کنند (جدول ۲). در شرایط بدون تنش، عامل اول ۴۱/۵۶ درصد از تغییرات بین متغیرها را توجیه کرد. بزرگ‌ترین ضرایب عاملی پس از چرخش واریماکس در این عامل مربوط به طول ریشه‌چه، طول و وزن ساقه‌چه، طول گیاهچه و ویگور

مقدار MGIDI را به خود اختصاص دادند و ژنوتیپ‌های نامطلوب بودند (شکل ۳-ا).

در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، عامل اول ۵۲/۷۷ درصد از تغییرات بین متغیرها را توجیه کرد. بزرگ‌ترین ضرایب عاملی مثبت پس از چرخش واریانس در عامل اول مربوط به طول و وزن ریشه‌چه، طول و وزن ساقه‌چه، طول و وزن گیاهچه و ویگور طولی و وزنی گیاهچه بود. عامل دوم ۱۶/۹۶ درصد از واریانس کل را توجیه نمود که در این عامل هم میانگین زمان جوانه‌زنی (MTG)، شاخص جوانه‌زنی (GI) و ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG)، بیشترین ضرایب عاملی را داشتند (جدول ۲).

داشته باشد، نشان می‌دهد که این ژنوتیپ فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل داشته و قرابت بیشتری با ژنوتیپ مطلوب دارد. برعکس هرچه مقدار MGIDI برای ژنوتیپی بیشتر باشد، به این معنی است که فاصله آن از ژنوتیپ ایده‌آل بیشتر است و نباید انتخاب شود (Olivoto and Nardino, 2020). بر اساس شاخص MGIDI، در شرایط نرمال و با احتساب شدت گزینش ۳۰ درصد، ژنوتیپ‌های G19، G51، G39، G30، G23، G1، G26، G7، G48، G5، G34، G31، G2، G14 و G33 با داشتن کمترین مقادیر MGIDI ژنوتیپ‌های مطلوبی بودند. از سوی دیگر، ژنوتیپ‌هایی مانند G38، G35، G37، G43، G16، G24 و G4 در این شرایط بیشترین

جدول ۲. مقادیر بارهای عاملی پس از چرخش واریانس و میزان اشتراک برآورد شده صفات و مقادیر ویژه و واریانس توجیه شده توسط هر عامل در تحلیل عاملی در دو شرایط نرمال و سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار

Table 2. Factor loadings after Varimax rotation and the estimated contribution of traits and eigenvalues and variance justified by each factor in factor analysis under normal conditions and 150 mM salinity level

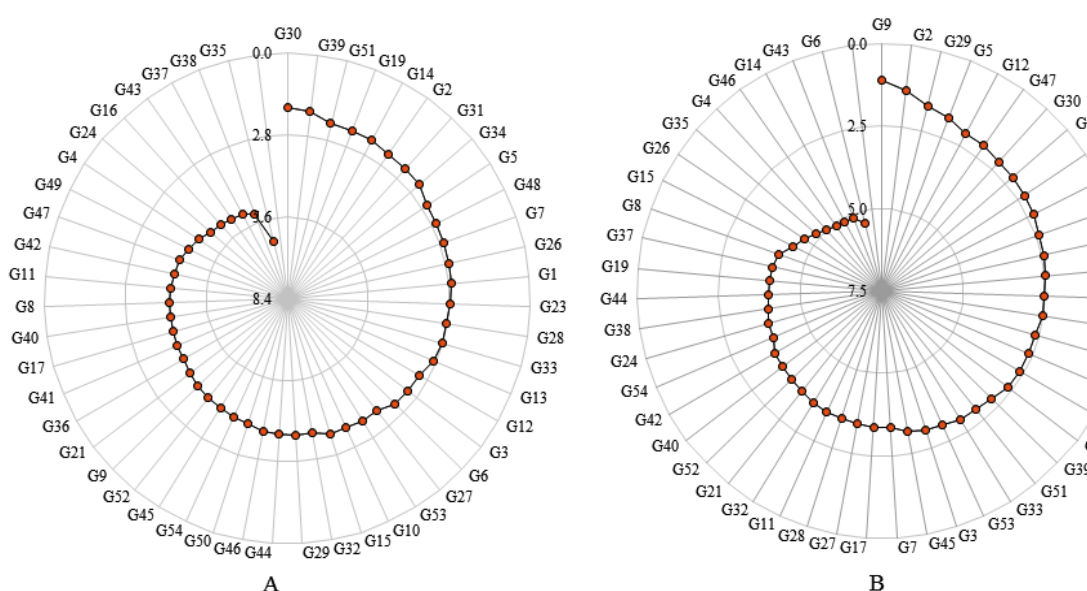
صفت Variable	Normal conditions				150 mM NaCl level			
	FA1	FA2	FA3	میزان اشتراک Communality	FA1	FA2	FA3	میزان اشتراک Communality
MTG	0.02	-0.91	0.01	0.82	-0.12	-0.97	-0.09	0.97
GI	0.02	-0.97	-0.05	0.94	-0.31	-0.59	-0.57	0.77
FGP	0.00	-0.86	-0.10	0.75	-0.10	-0.12	-0.95	0.92
CVG	-0.01	-0.90	0.01	0.80	-0.07	-0.97	-0.05	0.94
MDG	0.00	-0.86	-0.10	0.75	-0.10	-0.12	-0.95	0.92
RL	0.64	0.00	0.33	0.52	-0.63	0.05	-0.43	0.59
SL	0.90	0.04	-0.06	0.81	-0.89	-0.22	0.08	0.84
SDL	0.95	0.02	0.19	0.94	-0.93	-0.12	-0.17	0.91
RW	0.06	0.15	0.95	0.94	-0.60	0.15	-0.47	0.60
SW	0.80	0.05	0.36	0.78	-0.89	-0.25	0.16	0.88
SDW	0.57	0.12	0.79	0.96	-0.91	-0.05	-0.22	0.87
SDLV	0.94	-0.14	0.17	0.94	-0.84	-0.14	-0.44	0.91
SDWV	0.57	-0.06	0.79	0.95	-0.77	-0.10	-0.56	0.92
مقدار ویژه Eigenvalues	5.40	4.12	1.38		6.86	2.21	1.98	
درصد واریانس توجیهی Variance (%)	41.56	31.68	10.65		52.77	16.96	15.24	
درصد تجمعی واریانس Cum. variance (%)	41.56	73.24	83.89		52.77	69.73	84.97	

MGT میانگین زمان جوانه‌زنی؛ GI شاخص جوانه‌زنی؛ FGP درصد جوانه‌زنی نهایی؛ CVG ضریب سرعت جوانه‌زنی؛ MDG میانگین جوانه‌زنی روزانه؛ RL طول ریشه‌چه؛ SL طول ساقه‌چه؛ SDL طول گیاهچه؛ RW وزن ریشه‌چه؛ SW وزن ساقه‌چه؛ SDW وزن گیاهچه؛ SDLV شاخص طولی ویگور گیاهچه و SDWV شاخص وزنی ویگور گیاهچه

MGT, mean germination time; GI, germination index; FGP, final germination percentage; CVG, coefficient of germination velocity; MDG, average daily germination; RL, root length; SL, shoot length; SDL, seedling length; RW, root weight; SW, shoot weight; SDW, seedling weight; SDLV, length index of seedling vigor; and SDWV, weight index of seedling vigor

با داشتن کمترین مقادیر MGIDI ژنوتیپ‌های مطلوبی از لحاظ شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بودند. از سوی دیگر ژنوتیپ‌های G26, G35, G4, G46, G14, G43, G6, G15, G8 و G37 در این شرایط بیشترین مقدار MGIDI را به خود اختصاص داده و جزء ژنوتیپ‌های نامطلوب و با تحمل کمتر در برابر شرایط شوری بودند (شکل ۳-ب).

عامل سوم نیز با توجه به ۱۵/۲۴ درصد از واریانس کل دارای ضرایب عاملی بزرگ برای درصد جوانه‌زنی نهایی (FGP) و میانگین جوانه‌زنی روزانه (MDG) بود (جدول ۲). در این سطح از تنش شوری نیز با احتساب شدت گزینش ۳۰ درصد، ژنوتیپ‌های با کد G9, G2, G29, G5, G12, G47, G30, G1, G31, G10, G34, G41, G13, G49 و G16



شکل ۳. الگوی رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دوروم به ترتیب صعودی بر اساس شاخص MGIDI در شرایط بدون تنش (a) و شرایط شوری (b) mM 150

Fig. 3. The ranking pattern of different durum wheat genotypes in ascending order based on MGIDI index in non-stress conditions (a) and 150 mM NaCl (b)

حدود ۱۵ درصد بالاتر از میانگین ژنوتیپ‌های غیرمنتخب بودند ولی از لحاظ شاخص‌های جوانه‌زنی دیفرانسیل انتخاب کمتر از ۱ درصد بود. ژنوتیپ شاهد (رقم دهدشت) که خود یکی از ژنوتیپ‌های منتخب در این آزمایش (ژنوتیپ ۱) بود، از لحاظ همه صفات مورد مطالعه عملکرد مشابهی در مقایسه با ژنوتیپ‌های منتخب دیگر داشت. با توجه به این جدول مشخص می‌شود که در شرایط بدون تنش صفات مؤثر در دو عامل اول و سوم در گزینش ژنوتیپ‌های برتر بر اساس شاخص MGIDI سهم بیشتری داشتند (Olivoto and Nardino, 2020). بر این اساس می‌توان گفت که اکثر ژنوتیپ‌های منتخب در شرایط بدون تنش، برای صفاتی مانند طول و وزن ریشه‌چه، طول و وزن ساقه‌چه و طول و وزن گیاهچه و ویگور طولی و ویگور وزنی گیاهچه که بیشترین ضریب را در این دو عامل داشتند، به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک بودند.

میانگین ژنوتیپ‌های منتخب (با شدت گزینش ۳۰ درصد) در مقایسه با میانگین کل برای صفات مورد مطالعه در شرایط بدون تنش و سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به این جدول مشخص می‌شود که در هر دو شرایط دیفرانسیل انتخاب بر اساس شاخص MGIDI برای تمامی صفات مثبت بود. به این معنی که ژنوتیپ‌های انتخاب‌شده برای همه صفات مورد بررسی دارای میانگینی بالاتر از میانگین ژنوتیپ‌های غیرمنتخب و نیز میانگین کل بودند. در شرایط بدون تنش، بیشترین درصد افزایش در مورد صفات مربوط به رشد گیاهچه مانند طول و وزن ریشه‌چه، ساقه‌چه، گیاهچه و بنیه طولی و وزنی گیاهچه بود و کمترین درصد افزایش مربوط به درصد و مؤلفه‌های جوانه‌زنی بود (جدول ۳). این امر نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های منتخب از لحاظ رشد گیاهچه تحت شرایط بدون تنش به‌طور میانگین حدود ۱۰ درصد برتر از میانگین کل و

بیشتر از میانگین کل و نسبت به میانگین ژنوتیپ‌های غیر منتخب حدود ۲۲ درصد برتر بودند. این مقدار برای شاخص‌های جوانه‌زنی به ترتیب ۵ و ۸ درصد بود. به بیان دیگر می‌توان گفت که برای گزینش ژنوتیپ‌های گندم دوروم برای تحمل شوری در مرحله جوانه‌زنی توجه به ویژگی‌های رشدی و مؤلفه‌های جوانه‌زنی گیاهچه از اهمیت بیشتری برخوردار است که در این مورد شاخص MGIDI می‌تواند به‌عنوان یک روش گزینش مبتنی بر چند صفت در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر استفاده شود.

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های منتخب با میانگین کل برای صفات مورد مطالعه در سطح شوری 150 mM نیز نشان داد که بیشترین درصد افزایش (یا کاهش در مورد میانگین مدت جوانه‌زنی) در مورد صفات مربوط به رشد گیاهچه به‌ویژه طول ساقه‌چه و گیاهچه، بنیه طولی و وزنی گیاهچه و در بین مؤلفه‌های جوانه‌زنی مربوط به سرعت و میانگین مدت جوانه‌زنی بود و کمترین درصد افزایش مربوط به درصد جوانه‌زنی نهایی و میانگین جوانه‌زنی روزانه بود (جدول ۳). این امر نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های منتخب تحت شرایط شوری 150 mM هم از لحاظ رشد گیاهچه حدود ۱۴ درصد

جدول ۳. دیفرانسیل انتخاب بر اساس شاخص MGIDI برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم در دو شرایط نرمال و میانگین سطوح شوری

Table 3. Selection differential based on MGIDI index for studied traits in durum wheat genotypes in normal conditions and average salinity levels

شرایط Conditions	صفت Trait	فاکتور Factor	میانگین Mean			درصد دیفرانسیل گزینش نسبت به Selection Differential Percentage (SD%)	
			کل Total	گروه منتخب (30%) Selective genotypes	گروه غیرمنتخب Non-Selective	میانگین کل Per total mean	نسبت به گروه غیرمنتخب Per Non-Selective group
نرمال Normal	RL	FA1	9.86	10.94	9.40	10.98	16.46
	SL	FA1	8.00	8.88	7.62	10.99	16.47
	SDL	FA1	17.86	19.82	17.02	10.99	16.47
	SW	FA1	36.96	41.62	34.96	12.61	19.05
	SDLV	FA1	17.59	19.59	16.74	11.37	17.07
	MTG	FA2	1.05	1.04	1.06	-1.43	-2.03
	GI	FA2	28.76	29.07	28.63	1.07	1.54
	GP	FA2	98.60	98.96	98.45	0.37	0.53
	CVG	FA2	0.96	0.97	0.95	1.06	1.52
	MDG	FA2	14.09	14.14	14.07	0.37	0.53
	RW	FA3	37.22	39.93	36.06	7.29	10.75
	SDW	FA3	74.18	81.55	71.02	9.94	14.83
	SDWV	FA3	73.00	80.58	69.76	10.38	15.52
	سطح شوری ۱۵۰ mM 150 mM Salinity level	RL	FA1	4.28	4.63	4.13	8.15
SL		FA1	2.66	3.41	2.34	28.02	45.50
SDL		FA1	6.95	8.04	6.48	15.78	24.17
SW		FA1	20.74	24.35	19.19	17.43	26.91
SDLV		FA1	6.51	7.64	6.02	17.49	27.01
MTG		FA2	1.70	1.53	1.78	-9.93	-13.60
GI		FA2	22.68	24.12	22.06	6.38	9.36
GP		FA3	93.62	95.33	92.89	1.83	2.63
CVG		FA2	0.61	0.67	0.59	9.14	13.60
MDG		FA3	13.37	13.62	13.27	1.82	2.63
RW		FA1	34.30	36.33	33.43	5.93	8.69
SDW		FA1	55.04	60.69	52.62	10.26	15.34
SDWV		FA1	51.28	57.50	48.62	12.12	18.26

MGT میانگین زمان جوانه‌زنی (day)؛ GI شاخص جوانه‌زنی؛ FGP درصد جوانه‌زنی نهایی؛ CVG ضریب سرعت جوانه‌زنی؛ MDG میانگین جوانه‌زنی روزانه؛ RL طول ریشه‌چه؛ SL طول ساقه‌چه؛ SDL طول گیاهچه؛ RW وزن ریشه‌چه؛ SW وزن ساقه‌چه؛ SDW وزن گیاهچه؛ SDLV شاخص طولی ویکور گیاهچه؛ و SDWV شاخص وزنی ویکور گیاهچه.

MGT, mean germination time; GI, germination index; FGP, final germination percentage; CVG, coefficient of germination velocity; MDG, average daily germination; RL, root length; SL, shoot length; SDL, seedling length; RW, root weight; SW, shoot weight; SDW, seedling weight; SDLV, length index of seedling vigor; and SDWV, weight index of seedling vigor

MGIDI و IGSI از لحاظ ژنوتیپ‌های انتخابی در شدت گزینش ۳۰ درصد و برآورد میزان همخوانی آن‌ها در انتخاب ژنوتیپ‌های یکسان نشان داد که تعداد ۱۱ ژنوتیپ از ۱۵۰ ژنوتیپ انتخابی در هر دو سطح نرمال و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بین این دو شاخص یکسان بود.

نتیجه‌گیری نهایی

در کل، نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل‌ملاحظه‌ای در بین ژنوتیپ‌های گندم دوروم مورد مطالعه از لحاظ تحمل شوری در مرحله جوانه‌زنی وجود دارد که از این تنوع می‌توان در برنامه‌های اصلاحی این گیاه زراعی ارزشمند استفاده کرد. همچنین شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (IGSI) و شاخص فاصله چند متغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI) در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بر اساس همه صفات مورد مطالعه کارآمد بودند و استفاده از این شاخص‌ها در برنامه‌های اصلاحی برای گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب می‌تواند مفید و مؤثر باشد.

با توجه به این جدول مشخص می‌شود که صفات مؤثر در دو عامل اول و دوم در گزینش ژنوتیپ‌های برتر بر اساس شاخص MGIDI در شرایط شوری سهم بیشتری داشتند. بر این اساس می‌توان گفت که اکثر ژنوتیپ‌های متحمل منتخب در تنش شوری ۱۵۰ mM، برای صفاتی مانند طول و وزن ریشه‌چه، طول و وزن ساقه‌چه، طول و وزن گیاهچه و ویگور طولی و ویگور وزنی گیاهچه، میانگین مدت جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی که بیشترین ضریب را در دو عامل اول و دوم داشتند، به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک بودند. شاخص MGIDI برای تسهیل انتخاب ژنوتیپ‌ها توسط اولیوتو و ناردینو (Olivoto and Nardino, 2020) برای گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس اطلاعات چند صفت پیشنهاد شد. اولیوتو و همکاران (Olivoto et al., 2021) اخیراً از این شاخص برای انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل توت‌فرنگی استفاده کردند. همچنین استفاده از شاخص MGIDI توانست غربالگری ژنوتیپ‌های جو نسبت به تنش شوری را در مراحل اولیه رشد تسریع کند (Pour-Aboughadareh et al. 2021). انتظار می‌رود که استفاده از این شاخص در برنامه‌های گزینشی گیاهان مورد استفاده بیشتر قرار گیرد. مقایسه بین دو شاخص

منابع

- Abdollahi Hesar, A., Sofalian, O., Alizadeh, B., Asghari, A., Zali, H., 2021. Investigation of frost stress tolerance in some promising rapeseed genotypes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 31, 270-288. [In Persian with English summary].
- Almansouri, M., Kinet, J. M., Lutts, S., 2001. Effect of salt and osmotic stress on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*. 231, 243-254. <https://doi.org/10.1023/A:1010378409663>
- Amiri, R., Pezeshkpour, P., 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, 140-151. [In Persian with English summary].
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., Hayat, S., 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*. 156, 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- Aysen, Y., Uncuoglu, A.A., 2012. Tissue specific responses alter the biomass accumulation in wheat under gradual and sudden salt stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*. 8, 143-156.
- Bewley, J.D., Black, M., 1994. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Plenum Press, New York. 445pp
- Borrelli, G. M., Fragasso, M., Nigro, F., Platani, C., Papa, R., Beleggia, R., Trono, D., 2018. Analysis of metabolic and mineral changes in response to salt stress in durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) genotypes, which differ in salinity tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 133, 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.025>
- Carrillo, J.M., Martinez, M.C., Brites, C., Nieto-Taladriz, M.T., Vázquez, J.F., 2000. Relationship between endosperm proteins and quality in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Options Mediterraneennes*. 40, 463-467.

- Dantas, B.F., Ribeiro, L.D. S., Aragão, C.A., 2007. Germination, initial growth and cotyledon protein content of bean cultivars under salinity stress. *Revista Brasileira de Sementes*. 29, 106-110. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000200014>
- Davenport, R., James, R. A., Zakrisson-Plogander, A., Tester, M., Munns, R., 2005. Control of sodium transport in durum wheat. *Plant physiology*. 137, 807-818. <https://doi.org/10.1104/pp.104.057307>
- EL Sabagh, A., Islam, M. S., Skalicky, M., Ali Raza, M., Singh, K., Anwar Hossain, M., ... 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., ... 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>
- Ghassemi-Golezani, K., Dalil, B., 2011. Seed ageing and field performance of maize under water stress. *African Journal of Biotechnology*. 10, 18377-18380. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2154>
- Hadi, M.R., Khosh Kholgh Sima, N.A., Khavarinejad, R., KiyamNekoie, S.M., 2008. The effect of elements accumulation on salinity tolerance in seven genotype durum wheat (*Triticum turgidum* L.) collected from the Middle East. *Iranian Journal of Biology*. 21, 326-340. [In Persian with English Summary].
- Hasanuzzaman, M., Alam, M., Rahman, A., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., 2014. Exogenous proline and glycine betaine mediated upregulation of antioxidant defense and glyoxalase systems provides better protection against salt-induced oxidative stress in two rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *BioMed Research International*. 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/757219>
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., Bohnert, H.J., 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology*. 51, 463-499. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.463>
- International Grains Council, 2021. IGC, International Grains Council. Available online: <https://www.igc.int/en/default.aspx> (accessed on 15 January 2023).
- James, R.A., von Caemmerer, S., Condon, A.T., Zwart, A. B., Munns, R., 2008. Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. *Functional Plant Biology*. 35, 111-123. <https://doi.org/10.1071/FP07234>
- Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., Foolad, M.R., 2011. Gene expression profiling of plants under salt stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 30, 435-458. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.605739>
- Kumari, A., Kaur, R., 2020. A review on morpho-physiological traits of plants under phthalates stress and insights into their uptake and translocation. *Plant Growth Regulation*. 91, 327-347. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00625-0>
- Liang, W., Ma, X., Wan, P., Liu, L., 2018. Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 495, 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.11.043>
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Munns, R., James, R.A., 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil*. 253, 201-218. <https://doi.org/10.1023/A:1024553303144>
- Munns, R., James, R.A., Läuchli, A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany*. 57, 1025-1043. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj100>
- Murillo-Amador, B., López-Aguilar, R., Kaya, C., Larrinaga-Mayoral, J., Flores-Hernández, A., 2002. Comparative effects of NaCl and polyethylene glycol on germination, emergence and seedling growth of cowpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 188, 235-247. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2002.00563.x>

- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., Zali, H., 2018. Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE biplot. *Journal of Crop Breeding*. 10, 1-12. [In Persian with English summary]
- Olivoto, T., Nardino, Am., 2020. MGIDI: toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics*. 10, 981-1093. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btaa981>
- Olivoto, T., Diel, M.I., Schmidt D., Lúcio, A.D.C., 2021. Multivariate analysis of strawberry experiments: where are we now and where can we go? *BioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.12.30.424876>
- Pour-Aboughadareh, A., Sanjani, S., 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, 117 -128. <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00576-0>
- Promila, K., Kumar, S., 2000. *Vigna radiata* seed germination under salinity. *Biologia Plantarum*. 43, 423-426. <https://doi.org/10.1023/A:1026719100256>
- Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M., Ludwiczak, A., Cardenas Perez, S., Piernik, A., 2020. Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes. *Agronomy*. 10, 859. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060859>
- Ramzi, E., Asghari, A., Khomari, S., Mohammaddoust 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, 63-72. [In Persian with English summary].
- Ryu, H., Cho, Y.G., 2015. Plant hormones in salt stress tolerance. *Journal of Plant Biology*. 58, 147-155. <https://doi.org/10.1007/s12374-015-0103-z>
- Sayar, R., Bchini, H., Mosbahi, M., Khemira, H. 2010. Response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) growth to salt and drought stresses. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 46, 54-63. <https://doi.org/10.17221/85/2009-CJGPB>
- Solat Petloo, N., Asghari Zakaria, R., Ebadi, A., Sharifi Ziveh, P., 2022. Selection of cow cockle (*Vaccaria hispanica*) ecotypes based on agronomic traits under different irrigation regimes. *Journal of Crop Breeding*. 14, 135-144. [In Persian with English summary].
- Solat Petloo, N., Asghari Zakaria, R., Ebadi, A., 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, 517-530. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2023.4779.2069>
- Subira, J., Peña, R. J., Álvaro, F., Ammar, K., Ramdani, A., 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, 16-26. <https://doi.org/10.1071/CP13238>
- Xynias, I.N., Mylonas, I., Korpetis, E.G., Ninou, E., Tsaballa, A., Avdikos, I.D., Mavromatis, A.G., 2020. Durum wheat breeding in the Mediterranean region: Current status and future prospects. *Agronomy*. 10, 432. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030432>
- Yaghotipoor, A., Farshadfar, E. A., Saeidi, M. (2017). Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes using new mixed method. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(2), 247-256. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.581>
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., Enayati Shariatpanahi, M., 2019. Identifying drought tolerant canola genotypes using selection index of ideal genotype. *Journal of Crop Breeding*. 11, 117-126. [In Persian with English summary].
- 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, 425-436.