

Screening of maize (*Zea mays* L.) lines using selection indices for salinity stress tolerance

S. Arzhang¹, R. Darvishzadeh^{2, 3*}, H. Alipour⁴

1. PhD Student in Plant Breeding-Molecular Genetics and Genetic Engineering, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3. Professor, Institute of Biotechnology, Urmia University, Urmia, Iran

4. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Received 12 March 2022; Accepted 28 May 2022

Extended abstract

Introduction

Salinity stress is one of the main abiotic stress factors and environmental problems affecting crop yields worldwide, especially in arid and semi-arid regions. Land salinization is increasing, with 10 million ha of agricultural land destroyed annually. An increase in the concentration of salts in soil solution or irrigation water adversely affects plant growth and productivity, which can substantially reduce yield production. Maize (*Zea mays* L.) is the third most important cereal grain after rice and wheat, due to its high yield and nutritive value and also known as the queen of cereal crops and is moderately sensitive to salinity stress. Accurate screening of maize tolerant genotypes using selection indices for salinity stress tolerance is an efficient approach to improve salinity tolerant crop plant genotypes, as well as reduce the effect of salinity on this crop.

Materials and methods

This study was conducted at the Urmia University Research Farm in 2017 to evaluate the influence of salinity stress (8 dSm⁻¹) on the grain yield of 86 maize lines, as well as identify salt-tolerant maize lines based on selection indices for salinity stress tolerance. The pot experiments in normal and salinity stress conditions were set up in a randomized complete block design (RCBD) with three replicates. Ten selection indices for salinity stress tolerance including Stress Susceptibility Index (SSI), Tolerance Index (TOL), Stress Tolerance Index (STI), Mean Productivity (MP), Geometric Mean Productivity (GMP), Harmonic Mean (HM), Abiotic Tolerance Index (ATI), Drought resistance Index (DI), Modified Stress Tolerance Index in normal condition (MpSTI), and Modified Stress Tolerance Index in stress condition (MsSTI) were calculated based on grain yield of lines under normal and salinity stress conditions.

Results and discussion

A wide range of genetic variability was obtained among the studied maize lines in terms of grain yield under normal and salinity stress conditions as well as in terms of selection indices for salinity stress tolerance, which provided suitable conditions for evaluating tolerance indices and selection of tolerant lines. STI, MP, GMP, and HM had the highest correlation with grain yield in both normal and salinity stress conditions and were suitable to screen salt-tolerant and high-yielding maize lines. The three-

* Corresponding author: Reza Darvishzadeh; E-Mail: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir



dimensional (3D) plot obtained from these indices showed that the lines Ma025, Ma010, Ma026, Ma011, Ma009, Ma015, Ma116, Ma012, Ma028, and Ma062, which were in group A, had high yields in both normal and stress conditions. The results obtained from the use of principal component analysis showed that the first two principal components account for 93% of the total variance. The first component, called yield potential, had a very significant correlation with STI, MP, GMP, HM, DI, MpSTI, and MsSTI and was able to separate high-yielding maize lines in both normal and stress conditions. The second component, called sensitive or tolerant to salinity stress, had a very high correlation with SSI, TOL, and ATI and was able to distinguish stable maize lines. According to the hierarchical cluster analysis, a total of 86 maize lines were grouped in three tolerant, semi-tolerant, and sensitive clusters somehow this clustering was completely consistent with the separation of maize lines by the first principal component. In addition, each of these clusters had two subclusters that were separated according to the second principal component, so that in each cluster, the lines that had high yield stability were placed in the first subcluster, and the lines that had lower yield stability were placed in the second subcluster. Thus, Ma010, Ma026, Ma009, Ma027, Ma023, Ma007, and Ma005 were introduced as salt-tolerant maize lines with stable yields to use in breeding programs.

Conclusion

Based on the available findings, the present study, as the first study on a large number of maize lines (86 lines) in the country, evaluated salinity stress tolerance using selection indices. The results of this study revealed the importance of using selection indices for stress tolerance as a reliable and useful tool to improve salinity stress tolerance in maize lines. Accordingly, STI, MP, GMP, and HM were identified as the most appropriate indices for the selection of tolerant and stable maize lines using multivariate statistical methods. It is recommended that the selected maize lines be considered as parent lines in future breeding programs in order to improve salinity stress tolerance and stable grain yield.

Keywords: Biplot, Grain yield, Multivariate analysis, Stress tolerance indices



<https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5194.2120>

مقاله پژوهشی

غربالگری لاین‌های ذرت (*Zea mays L.*) با استفاده از شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری

سرور ارژنگ^۱، رضا درویش‌زاده^{۲،۳*}، هادی علی‌پور^۴

۱. دانشجوی دکتری اصلاح نباتات - ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲. استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه

۳. استاد، پژوهشکده زیست‌فناوری دانشگاه ارومیه، ارومیه

۴. استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	عوامل تنش‌زای غیرزیستی از جمله تنش شوری، موجب کاهش عمده عملکرد ذرت به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. کاربرد شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری، راهکار مؤثری جهت غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل ذرت در راستای برنامه‌های بهنژادی این محصول است. بدین منظور، ارزیابی ۸۶ لاین ذرت تحت شرایط نرمال و تنش شوری ($AdSm^{-1}$) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلدانی طی سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه انجام گرفت. بر اساس عملکرد دانه لاین‌های ذرت در شرایط نرمال و تنش شوری، ده شاخص گزینش برای تحمل به تنش شوری شامل شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل غیرزیستی (ATI)، شاخص مقاومت به خشکی (DI)، شاخص تغییر یافته تحمل به تنش در شرایط نرمال (MpSTI) و تنش (MsSTI) محاسبه شدند. تنوع ژنتیکی بالایی در بین لاین‌های مورد مطالعه از لحاظ عملکرد دانه و شاخص‌های گزینش به دست آمد. شاخص‌های STI، MP، GMP و HM بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری داشتند و بر اساس نمودار سه‌بعدی، لاین‌های متحمل به شوری با عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری را از سایر لاین‌ها تفکیک نمودند. نتایج حاصل از روش‌های آماری چندمتغیره شامل تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، نه تنها قادر به تمایز لاین‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری بودند، بلکه قادر بودند لاین‌های پایدار در شرایط تنش را نیز از لاین‌های ناپایدار تفکیک نمایند. بدین ترتیب، لاین‌های Ma010، Ma026، Ma009، Ma027، Ma023، Ma007 و Ma005 به‌عنوان لاین‌های ذرت متحمل به شوری با عملکرد پایدار جهت استفاده در برنامه‌های بهنژادی معرفی می‌شوند.
بای‌پلات	
تجزیه و تحلیل	
چندمتغیره	
شاخص‌های تحمل به تنش	
عملکرد دانه	
تاریخ دریافت:	
۱۴۰۰/۱۲/۲۱	
تاریخ پذیرش:	
۱۴۰۱/۰۳/۰۷	
تاریخ انتشار:	
زمستان ۱۴۰۲	
۹۶۷-۹۴۹ (۴): ۱۶	

مقدمه

در سال‌های اخیر، فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی سبب تجمع نمک در لایه‌های مختلف خاک و افزایش زمین‌های شور شده است، به طوری که بر اساس برآوردهای انجام گرفته سالانه حدود ۱۰ میلیون هکتار از زمین‌های زراعی دنیا در اثر شوری زیاد در حال نابود شدن هستند (Smajgl et al., 2015). توزیع جهانی اراضی شور حدود یک میلیارد (et al., 2015). در ایران نیز حدود ۳۴ میلیون هکتار (۲۰ درصد) از کل مساحت کشور که بیشتر دربرگیرنده مناطق

در سال‌های اخیر، فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی سبب تجمع نمک در لایه‌های مختلف خاک و افزایش زمین‌های شور شده است، به طوری که بر اساس برآوردهای انجام گرفته سالانه حدود ۱۰ میلیون هکتار از زمین‌های زراعی دنیا در اثر شوری زیاد در حال نابود شدن هستند (Smajgl et al., 2015). توزیع جهانی اراضی شور حدود یک میلیارد

متفاوتی مبتنی بر روابط ریاضی بین عملکرد در شرایط نرمال و شرایط تنش، برای ارزیابی و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تحمل و یا حساسیت آن‌ها به تنش ارائه شده است. فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) برای تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار، شاخص حساسیت به تنش (SSI) را پیشنهاد کردند که بر اساس کاهش عملکرد نسبی یک ژنوتیپ تحت شرایط تنش محاسبه می‌شود. ژنوتیپ‌های با مقادیر SSI کمتر از یک، حساسیت کمتری به تنش داشته و یا به عبارت دیگر دارای عملکرد پایداری در شرایط تنش هستند، زیرا کاهش عملکرد آن‌ها در شرایط تنش کمتر از میانگین کاهش عملکرد همه ژنوتیپ‌ها است. این در حالی است که پژوهشگران دیگر اعلام نمودند که انتخاب بر اساس این شاخص، عملکرد بالقوه در شرایط نرمال را کاهش می‌دهد و استفاده از این شاخص زمانی که داشتن عملکرد بالا فقط در شرایط تنش مدنظر باشد، مطلوب خواهد بود (Clarke et al., 1992). در سال ۱۹۸۱، شاخص تحمل (TOL) به صورت تفاوت عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط نرمال نسبت به شرایط تنش و شاخص میانگین بهره‌وری (MP) به صورت میانگین عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط نرمال و تنش، توسط روسیل و همبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) مطرح شدند. سپس، فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل به تنش (STI) را ارائه نمود که می‌تواند ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو شرایط نرمال و تنش عملکرد بالایی دارند، شناسایی نماید. کریستین و همکاران (Kristin et al., 1997) با گسترش شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) گزارش دادند که این شاخص حساسیت کمتری نسبت به شدت‌های مختلف تنش دارد. از آنجایی که شدت تنش ممکن است در محیط مزرعه در طی سال‌های مختلف متفاوت باشد، شاخص GMP در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط نرمال و تنش، بهتر از شاخص MP عمل می‌کند. شاخص مقاومت به تنش خشکی (DI) توسط لان (Lan, 1998) معرفی شد و برای شناسایی ژنوتیپ‌های با تولید عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش مورد استقبال قرار گرفت. فرشادفر و سوتکا (Farshadfar and Sutka, 2002) در راستای بهبود کارایی شاخص STI، با اضافه نمودن ضرایب تصحیح به عنوان وزنه به این شاخص، شاخص‌های تغییر یافته تحمل به تنش را برای انتخاب بهینه در شرایط نرمال (MpSTI) و تنش (MsSTI)

خشک و نیمه‌خشک هستند، تحت تنش شوری است و حدود ۵۵ درصد از زمین‌های کشاورزی آن به علت ابتلا به کم‌آبی و شوری، غیر حاصلخیز است (FAO, 2022b). گیاهان کشت‌شده در این مناطق که تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفته‌اند، رشد و بهره‌وری کمتری داشته و در نتیجه دارای عملکرد کمتری هستند (Munns et al., 2019).

ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی با متابولیسم فتوسنتزی C4 است که با دارا بودن ارزش غذایی بالا و خصوصیات بیولوژیکی منحصربه‌فرد، جزو یکی از گونه‌های بسیار با ارزش خانواده گندمیان به شمار می‌آید. ذرت به عنوان سومین محصول مهم بعد از گندم و برنج، در گروه گیاهان نسبتاً حساس به تنش شوری طبقه‌بندی می‌شود که حساسیت آن در مرحله گیاهچه‌ای بیشتر است (Katerji et al., 1994). نتایج حاصل از بررسی تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که تنش شوری یکی از تهدیدهای جدی برای تولید ذرت در سراسر جهان است (Acosta-Motos et al., 2017). کاهش رشد ذرت بر اساس مدل دوفازی، به سبب تنش اسمزی ناشی از تجمع نمک در محیط اطراف ریشه در فاز اول و سمیت یونی ناشی از تجمع یون Na^+ در برگ‌ها در فاز دوم رخ می‌دهد (Fortmeier and Schubert, 1995). در طی مرحله زایشی، کاهش میزان فتوسنتز و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به طرف دانه‌های در حال پر شدن (به عبارت دیگر محدودیت منبع^۱) به همراه کاهش ظرفیت دانه‌ها برای تجمع مواد پرورده (به عبارت دیگر محدودیت مخزن^۲) سبب کاهش وزن دانه و تعداد دانه شده که در نهایت منجر به کاهش عملکرد ذرت می‌شود (Lohaus et al., 2000).

تولید ذرت حتی در شرایط تنش شوری، بایستی تا سال ۲۰۵۰ دو برابر شود تا نیاز روزافزون به این گیاه به عنوان یکی از مواد غذایی اساسی برآورده شود (Ray, 2013). بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش از طریق گزینش و ایجاد واریته‌های متحمل به تنش با عملکرد پایدار، یکی از استراتژی‌های مهم برنامه‌های بهنژادی است (Genc et al., 2010). از آنجایی که بهنژادگران به دنبال ارقامی هستند که به طیف وسیعی از محیط‌های دارای تنش سازگار باشند، گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس معیارهایی صورت می‌گیرد که مبتنی بر عملکرد در هر دو شرایط نرمال و تنش باشد (Sio-Se, 2006). بدین منظور، شاخص‌های کمی

² Sink limitation

¹ Source limitation

تنش شوری در ژنوتیپ‌های جو (El-Wakeel et al., 2019) شاخص‌های MP، GMP، STI، YSI و YI و در مطالعه تنش خشکی در واریته‌های لوبیا (Wasae, 2021) شاخص‌های DRI، GMP، MP، MRP و REI به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش معرفی شده‌اند. هدف از انجام پژوهش حاضر، ارزیابی شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری در ۸۶ لاین ذرت تهیه‌شده از چندین مرکز تحقیقاتی و تعیین مناسب‌ترین شاخص‌ها و بهترین معیارهای انتخاب است، به‌نحوی که با شناسایی و غربالگری لاین‌های ذرت متحمل به تنش شوری و دارای عملکرد پایدار بتوان آن‌ها را جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی آتی پیشنهاد نمود. شایان ذکر است که این پژوهش اولین بار است که در سطح کشور بر روی تعداد زیادی لاین ذرت جهت بررسی تنش شوری انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی ۸۶ لاین ذرت (جدول ۱) تهیه‌شده از دانشگاه رازی کرمانشاه، مرکز تحقیقات کشاورزی مشهد و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، در شرایط نرمال و تنش شوری طی سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اجرا شد. کشت بذور ذرت در داخل گلدان‌های ده کیلوگرمی واقع‌شده در فضای باز مزرعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. با توجه به تعداد زیاد لاین‌های مورد مطالعه، بزرگ بودن فضای آزمایش و تعداد زیاد صفات مورد ارزیابی و به‌تبع زمان‌بر بودن آن، کنترل کامل شرایط آزمایش و اندازه‌گیری‌ها ممکن بود با خطاهایی مواجه شود. بنابراین، برای تقسیم‌کار، با وجود یکنواخت بودن خاک تمامی گلدان‌ها و یکسان بودن شرایط رشد گیاهان، از طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. گلدان‌ها با خاک لومی شنی و ماسه با نسبت دوبه‌یک پر شدند و آبیاری با استفاده از سامانه قطره‌ای انجام گرفت. ابتدا در هر گلدان تعداد دو بذر کشت شد و پس از اطمینان از جوانه‌زنی و رشد نرمال گیاهچه‌ها، یکی از آن‌ها در مرحله شش برگگی حذف شد و یک گیاهچه در هر گلدان باقی ماند. در مرحله هشت برگگی، تنش شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر (8 dS.m^{-1}) به خاک گلدان‌های سری تنش اعمال گردید. بدین‌صورت که ابتدا با استفاده از روش تهیه عصاره خاک به کمک قیف بوختر، مقدار گرم نمک کلریدسدیم (تهیه‌شده از شرکت مرک آلمان)

معرفی کردند. موسوی و همکاران (Moosavi et al., 2008) با معرفی شاخص تحمل به تنش غیرزیستی (ATI) اظهار نمودند که این شاخص در شناسایی ژنوتیپ‌هایی که تحمل نسبی به تنش خشکی داشتند، کارایی بیشتری نسبت به شاخص‌های SSI و TOL دارد. استفاده از میانگین هارمونیک (HM) برای اولین بار توسط جعفری و همکاران (Jafari et al., 2009) جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در ذرت مطرح شد.

تفکیک ژنوتیپ‌ها از نظر توان عملکرد و تحمل آن‌ها به تنش، در چهار گروه A، ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط نرمال و تنش دارای عملکرد بالایی هستند، B، ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط نرمال عملکرد بالایی دارند، C، ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش عملکرد بالایی دارند و D، ژنوتیپ‌هایی که در هیچ‌یک از شرایط نرمال و تنش عملکرد بالایی ندارند، انجام می‌گیرد. بر اساس این نظریه، شاخص مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، شاخصی است که قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از سایر ژنوتیپ‌ها بوده و همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش داشته باشد (Fernandez, 1992). مطالعات مربوط به ارزیابی شاخص‌های انتخاب در ذرت نشان می‌دهد که شاخص‌های STI، SSI، GMP و MP در شرایط تنش گرمایی (Kandel et al., 2019) و شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، MRP، REI، MpSTI، MsSTI و YI در شرایط تنش خشکی (Shahrokhi et al., 2020) مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل ذرت بودند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش دیگری حاکی از آن بود که هیچ‌کدام از شاخص‌های مورد ارزیابی STI، MP، GMP، ATI، RDI و SSPI، همبستگی بالایی با عملکرد دانه ذرت در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی نداشتند (Bonea, 2020). به همین علت از روش رتبه‌بندی برای شناسایی ژنوتیپ‌های ذرت متحمل به تنش خشکی استفاده شد. مطالعات متعددی در رابطه با ارزیابی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در گیاهان مختلف انجام شده است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که در مطالعه تنش شوری در توده‌های هندوانه (Ekbic et al., 2017) شاخص‌های MP، GMP و STI، در مطالعه تنش شوری در ژنوتیپ‌های گندم نان (Yassin et al., 2019) شاخص‌های STI و GMP، در مطالعه تنش کمبود نیتروژن در ژنوتیپ‌های برنج (Lestari et al., 2019) شاخص‌های MP، GMP و STI، در مطالعه

KSTP14، شرکت سازنده: سامانه هوشمند کیان سپهر، گرگان) با جریان هوای گرم به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد برای رسیدن به رطوبت ۱۴ درصد خشک شدند. سپس عملکرد دانه در بوته، از طریق جدا کردن دانه‌های روی بلال‌های هر بوته و توزین آن، برحسب گرم در بوته ثبت شد. بر اساس عملکرد دانه در شرایط نرمال (Yp) و عملکرد دانه در شرایط تنش شوری (Ys)، شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری برای هر لاین ذرت محاسبه گردید که فرمول آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

برای تنظیم شوری خاک هر گلدان در محدوده 8 dS.m^{-1} به‌دست آمد. سپس این مقدار نمک به‌دست‌آمده در ۱۱۰۰ میلی‌لیتر آب که باعث رساندن خاک هر گلدان به حد ظرفیت زراعی می‌شد حل گردید و به گلدان‌های سری تنش در دو مرحله (به‌منظور جلوگیری از وارد آمدن تنش ناگهانی) اضافه شد. شوری خاک در سه مرحله در طول آزمایش کنترل و در صورت نیاز با نمک کلرید سدیم تصحیح گردید. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، بلال‌های مربوط به هر تکرار از بوته‌ها جدا شده و در سیستم بالک کیوریک^۳ (مدل دستگاه:

جدول ۱. کد و اسامی لاین‌های ذرت مورد مطالعه

Table 1. Codes and names of studied maize lines

کد Code	نام لاین Line Name	کد Code	نام لاین Line Name	کد Code	نام لاین Line Name
Ma001	P3L2	Ma032	K1264/5-1	Ma079	138*/89
Ma002	P11L2	Ma035	B73	Ma080	K19*/1392 ایزوله
Ma003	P15L16Kahriz	Ma036	OH پدیری 43/1-42	Ma083	89/ *1چوب قرمز
Ma004	P9L3Kahriz	Ma037	پدیری R59	Ma085	خط 1390/Popcorn- 53 or 54
Ma005	P13L2	Ma038	W37A	Ma091	8/K19/1
Ma006	P19L7Kahriz	Ma039	R319	Ma096	67*/88
Ma007	P6L1	Ma040	R59	Ma098	1387/193/ chase*/S2
Ma008	P19 L3Kahriz	Ma042	W153R	Ma100	36-N/88-K3653/2
Ma009	P14L1Kahriz	Ma043	K1533 Popcorn	Ma104	Line1
Ma010	P11L7	Ma044	R59,R319	Ma105	Line2
Ma011	P14L2	Ma045	B73(RFC OR CMS)	Ma106	Line3
Ma012	P10L5	Ma046	1264/ 1	Ma107	Line4
Ma013	P1L4	Ma048	ZK472221	Ma108	Line5
Ma014	P11L6	Ma049	K1263/1/1388	Ma109	Line6
Ma015	P13L3	Ma051	9/K19/1	Ma110	Line7
Ma016	P16L4Kahriz	Ma052	3/K19/1&(K19/1*/1392)	Ma111	Line8
Ma017	P3 L4Kahriz	Ma054	2/ K19/1&(K19/1)	Ma112	Line9
Ma018	P1 L5Kahriz	Ma055	K3640/S /55-N	Ma113	Line10
Ma019	P19L5Kahriz	Ma057	20* /1389	Ma114	Line11
Ma020	P15L14	Ma060	اندونزی S2/ QPM/ SUKMA	Ma115	Line12
Ma021	P16L6Kahriz	Ma062	6* /88	Ma116	Line13
Ma022	P15L4	Ma064	4/ K19/1	Ma117	Line14
Ma023	P11 L9	Ma066	48* /1390	Ma118	Line15
Ma024	P9L6	Ma072	K166B/89&(14*K166B/1390)	Ma119	Line16
Ma025	P13L1	Ma073	K18-B/1392 ایزوله	Ma120	Line17
Ma026	P10L7	Ma074	7/K19/1	Ma121	Line18
Ma027	P16L12Kahriz	Ma075	23* /89	Ma122	Line19
Ma028	P10L9	Ma076	70* / 1388	Ma123	Line20
Ma031	OH43/1- 42	Ma077	10/K 19/1		

³ Bulk curing

جدول ۲. شاخص‌های گزینش لاین‌های ذرت برای تحمل به تنش شوری

Table 2. Selection indices of maize lines for salinity stress tolerance

شاخص گزینش Selection Index	فرمول شاخص Index Formula	مقدار مطلوب Optimum Value	منبع Reference
شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index	$SSI = \frac{1 - (Y_s / Y_p)}{1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)}$	کمتر Less	(Fischier and Maurer, 1978)
شاخص تحمل Tolerance Index	$TOL = Y_p - Y_s$	کمتر Less	(Rosielle and Hamblin, 1981)
شاخص تحمل به تنش Stress Tolerance Index	$STI = \frac{Y_p \times Y_s}{(\bar{Y}_p)^2}$	بیشتر More	(Fernandez, 1992)
میانگین بهره‌وری Mean Productivity	$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$	بیشتر More	(Rosielle and Hamblin, 1981)
میانگین هندسی بهره‌وری Geometric Mean Productivity	$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$	بیشتر More	(Kristin et al., 1997)
میانگین هارمونیک Harmonic Mean	$HM = \frac{2 \times (Y_p \times Y_s)}{(Y_p + Y_s)}$	بیشتر More	(Jafari et al., 2009)
شاخص تحمل غیرزیستی Abiotic Tolerance Index	$ATI = \frac{(Y_p - Y_s)}{(\bar{Y}_p / \bar{Y}_s)} \times GMP$	کمتر Less	(Moosavi et al., 2008)
شاخص مقاومت به خشکی Drought resistance Index	$DI = \frac{Y_s \times (Y_s / Y_p)}{\bar{Y}_s}$	بیشتر More	(Lan, 1998)
شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط نرمال Modified Stress Tolerance Index in normal condition	$MpSTI = \frac{(Y_p)^2}{(\bar{Y}_p)^2} \times STI$	بیشتر More	(Farshadfar and Sutka, 2002)
شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط تنش Modified Stress Tolerance Index in stress condition	$MsSTI = \frac{(Y_s)^2}{(\bar{Y}_s)^2} \times STI$	بیشتر More	(Farshadfar and Sutka, 2002)

در تمامی روابط فوق، \bar{Y}_p و \bar{Y}_s نشان‌دهنده میانگین عملکرد دانه همه لاین‌های ذرت به ترتیب در شرایط نرمال و تنش شوری هستند. In all the above equations, \bar{Y}_p and \bar{Y}_s are the average grain yields of all maize lines under normal and salinity stress conditions, respectively.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اختلاف بسیار معنی‌داری را بین لاین‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش شوری و نیز تمامی شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری نشان داد (جدول ۳). تفاوت‌های معنی‌دار نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی زیاد بین لاین‌ها و واکنش متفاوت این لاین‌ها به تنش شوری بوده و بر این نکته تأکید دارد که امکان گزینش لاین‌های متحمل به تنش شوری بر اساس شاخص‌های مورد بررسی وجود دارد. دامنه تغییرات عملکرد دانه در شرایط نرمال از ۲۱/۰ تا ۴۰۸/۹ و در شرایط تنش شوری از ۵/۳ تا ۲۷۰/۲ گرم در بوته بود. تفاوت معنی‌داری بین میانگین عملکرد دانه لاین‌ها در شرایط نرمال (۱۴۷/۷ گرم در بوته) و تحت تنش شوری (۱۰۸/۷ گرم در بوته) بر اساس آزمون تی-ولج^۴ به دست آمد (شکل ۱).

از نرم‌افزار R برای انجام تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. تجزیه واریانس عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش شوری و شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش با استفاده از تابع aov() انجام گرفت. ضرایب همبستگی پیرسون با استفاده از بسته corplot تعیین شد. نمودار سه‌بعدی جهت شناسایی لاین‌های متحمل به شوری با عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری با استفاده از نرم‌افزار Statistica رسم گردید که در آن عملکرد دانه در شرایط تنش بر روی محور X، عملکرد دانه در شرایط نرمال بر روی محور Y و یکی از شاخص‌های منتخب بر روی محور Z نشان داده شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از بسته factoextra و خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی لاین‌های ذرت به روش وارد (Ward) بر روی داده‌های استاندارد شده با استفاده از بسته cluster انجام گرفت.

⁴ Welch's t-test

جدول ۳. تجزیه واریانس عملکرد دانه و شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش در لاین‌های ذرت

Table 3. Analysis of variance for grain yield and selection indices for stress tolerance in maize lines

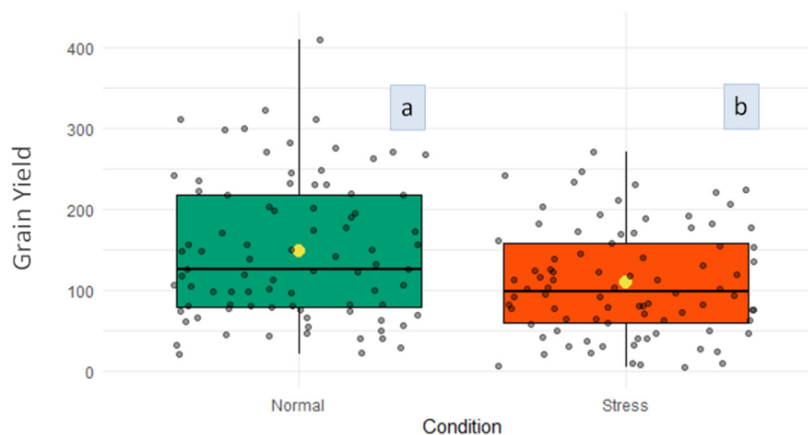
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی	Mean square			میانگین مربعات		
			Yp [†]	Ys	SSI	TOL	STI	MP
Line	لاین	85	14585***	11058.2***	1.73**	4405***	1.61***	10107***
Replication	تکرار	2	7832 ^{ns}	2596.1 ^{ns}	0.34 ^{ns}	1740 ^{ns}	1.24 ^{ns}	6419*
Error	اشتباه	154	3270	1820.6	0.95	1482	0.48	1958

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی	Mean square			میانگین مربعات		
			GMP	HM	ATI	DI	MpSTI	MsSTI
Line	لاین	85	13807***	9759***	128149352***	0.61***	48.8*	31.1**
Replication	تکرار	2	179 ^{ns}	6477*	89983346 ^{ns}	0.15 ^{ns}	36.0 ^{ns}	23.5 ^{ns}
Error	اشتباه	154	1817	1873	53372034	0.13	32.4	16.0

†Yp: عملکرد دانه در شرایط نرمال، Ys: عملکرد دانه در شرایط تنش شوری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، TOL: شاخص تحمل، STI: شاخص تحمل به تنش، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، ATI: شاخص تحمل غیرزیستی، DI: شاخص مقاومت به خشکی، MpSTI: شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط نرمال، MsSTI: شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط تنش
^{ns}, *, **, و ***: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد

†Yp, grain yield in normal condition; Ys, grain yield under salinity stress condition; SI, Stress Susceptibility Index; TOL, Tolerance Index; STI, Stress Tolerance Index; MP, Mean Productivity; GMP, Geometric Mean Productivity; HM, Harmonic Mean; ATI, Abiotic Tolerance Index; DI, Drought resistance Index; MpSTI, Modified Stress Tolerance Index in normal condition; MsSTI, Modified Stress Tolerance Index in stress condition

^{ns}, *, **, and ***: Non-significant, significant at 5%, 1% and 0.1% probability levels, respectively



شکل ۱. نمودار جعبه‌ای عملکرد دانه لاین‌های ذرت مورد مطالعه و مقایسه میانگین بر اساس آزمون t ولج در سطح احتمال ۵ درصد (a) در شرایط نرمال (جعبه سبزرنگ) و (b) تحت تنش شوری (جعبه نارنجی‌رنگ). دایره زرد رنگ و خط افقی داخل جعبه‌ها به ترتیب میانگین و میانه را نشان می‌دهد.

Fig. 1. Box plots showing grain yield of the studied maize lines and compare mean based on the Welch's t-test at $p < 0.05$ (a) under normal (green box) and (b) salinity stress (orange box) conditions. The yellow circle and horizontal line within the boxes represent the mean and median, respectively.

معیار مناسبی را برای تحمل به تنش، بر اساس کاهش عملکرد در شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال ارائه می‌دهند که جهت غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به تنش استفاده می‌شوند (Mitra, 2001)؛ بنابراین، تعداد ده شاخص

با توجه به وجود این اختلاف معنی‌دار، جهت گزینش لاین‌های متحمل بایستی عملکرد دانه لاین‌ها را هم‌زمان در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری مدنظر قرار داد (Fernandez, 1992). در این رابطه، شاخص‌های گزینش

این نظریه، بهترین شاخص‌ها همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش دارند و قادرند ژنوتیپ‌هایی را که عملکرد بهینه و مشابهی را در هر دو شرایط نرمال و تنش دارند، از ژنوتیپ‌های موجود در سایر گروه‌ها جدا کنند. نتایج همبستگی بین شاخص‌ها (شکل ۲) نشان داد که عملکرد دانه در شرایط نرمال همبستگی مثبت و معنی‌داری با تمامی شاخص‌ها به‌جز شاخص SSI داشت.

گزینش جهت شناسایی و گزینش لاین‌های ذرت متحمل به تنش شوری، با استفاده از عملکرد دانه تحت هر دو شرایط نرمال و تنش موردبررسی قرار گرفت (جدول ۴). از آنجایی که شاخص‌های مختلف نتایج متفاوتی را در رابطه با گزینش لاین‌های متحمل به دست دادند؛ لذا مطابق با نظر بلوم (Blum, 1988) و فرناندز (Fernandez, 1992) جهت یافتن بهترین شاخص‌ها از تجزیه همبستگی استفاده شد. بر اساس

جدول ۴. شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری در لاین‌های ذرت

Table 4. Selection indices for salinity stress tolerance in maize lines

Line	Yp	Ys	SSI	TOL	STI	MP
Ma001	247.3 (13)	91.8 (47)	2.39 (79)	155.5 (84)	1.05 (29)	169.6 (27)
Ma002	201.4 (25)	188.4 (13)	0.25 (29)	13.0 (36)	1.75 (18)	194.9 (18)
Ma003	261.9 (12)	181.4 (15)	1.17 (54)	80.4 (71)	2.18 (14)	221.6 (13)
Ma004	216.9 (23)	134.4 (28)	1.44 (60)	82.5 (72)	1.34 (25)	175.6 (25)
Ma005	234.8 (16)	223.5 (6)	0.19 (24)	11.3 (35)	2.41 (11)	229.1 (12)
Ma006	148.6 (38)	144.9 (25)	0.10 (20)	3.7 (23)	0.99 (30)	146.8 (31)
Ma007	222.1 (20)	220.5 (7)	0.03 (7)	1.6 (15)	2.25 (12)	221.3 (14)
Ma008	171.2 (32)	171.0 (19)	0.01 (4)	0.2 (4)	1.35 (24)	171.1 (26)
Ma009	244.6 (14)	242.2 (3)	0.04 (10)	2.4 (19)	2.72 (5)	243.4 (7)
Ma010	270.8 (10)	270.2 (1)	0.01 (5)	0.6 (5)	3.36 (2)	270.5 (2)
Ma011	298.9 (5)	205.8 (9)	1.18 (55)	93.1 (74)	2.83 (4)	252.3 (4)
Ma012	310.5 (3)	177.0 (17)	1.63 (66)	133.5 (83)	2.53 (8)	243.8 (6)
Ma013	156.6 (34)	154.6 (23)	0.05 (12)	2.0 (17)	1.12 (28)	155.6 (29)
Ma014	267.5 (11)	172.0 (18)	1.36 (58)	95.5 (76)	2.11 (16)	219.7 (16)
Ma015	310.5 (3)	182.6 (14)	1.56 (63)	127.9 (82)	2.61 (6)	246.6 (5)
Ma016	176.6 (29)	161.7 (21)	0.32 (30)	14.9 (40)	1.32 (27)	169.2 (28)
Ma017	131.4 (42)	101.3 (43)	0.87 (47)	30.1 (51)	0.62 (44)	116.3 (45)
Ma018	321.5 (2)	139.7 (26)	2.15 (76)	181.8 (86)	2.07 (17)	230.6 (11)
Ma019	219.5 (21)	158.2 (22)	1.06 (52)	61.3 (61)	1.60 (21)	188.9 (22)
Ma020	173.7 (30)	101.7 (42)	1.58 (64)	72.0 (67)	0.82 (37)	137.7 (34)
Ma021	230.7 (18)	153.2 (24)	1.28 (57)	77.5 (70)	1.63 (20)	192.0 (20)
Ma022	194.8 (27)	192.6 (11)	0.05 (11)	2.2 (18)	1.73 (19)	193.7 (19)
Ma023	230.1 (19)	210.2 (8)	0.33 (31)	20.0 (44)	2.22 (13)	220.2 (15)
Ma024	202.1 (24)	169.0 (20)	0.63 (41)	33.1 (53)	1.57 (22)	185.6 (23)
Ma025	408.9 (1)	230.9 (5)	1.65 (67)	177.9 (85)	4.34 (1)	319.9 (1)
Ma026	271.1 (9)	246.3 (2)	0.35 (33)	24.8 (48)	3.07 (3)	258.7 (3)
Ma027	197.2 (26)	234.0 (4)	-0.71 (1)	-36.8 (1)	2.12 (15)	215.6 (17)
Ma028	281.2 (7)	191.4 (12)	1.21 (56)	89.8 (73)	2.47 (9)	236.3 (10)
Ma031	82.6 (59)	77.7 (55)	0.23 (28)	4.9 (26)	0.30 (57)	80.2 (58)
Ma032	80.7 (63)	80.0 (53)	0.04 (8)	0.7 (6)	0.30 (56)	80.4 (57)
Ma035	69.4 (70)	5.3 (86)	3.50 (86)	64.1 (62)	0.02 (84)	37.4 (80)
Ma036	29.1 (84)	28.0 (78)	0.14 (21)	1.1 (12)	0.04 (82)	28.5 (84)
Ma037	80.8 (62)	80.8 (52)	0.01 (2)	0.03 (2)	0.30 (55)	80.8 (56)
Ma038	31.4 (83)	30.6 (77)	0.10 (19)	0.8 (7)	0.05 (80)	31.0 (82)
Ma039	113.2 (49)	112.2 (38)	0.04 (9)	1.0 (9)	0.59 (47)	112.7 (47)
Ma040	77.0 (66)	75.3 (57)	0.09 (16)	1.7 (16)	0.27 (60)	76.1 (60)

Continued on the next page

ادامه در صفحه بعد

Line	Yp	Ys	SSI	TOL	STI	MP
Ma042	21.0 (86)	6.2 (85)	2.67 (83)	14.8 (39)	0.01 (86)	13.6 (86)
Ma043	122.7 (46)	76.8 (56)	1.42 (59)	45.9 (57)	0.44 (49)	99.8 (49)
Ma044	149.7 (36)	125.5 (30)	0.62 (40)	24.2 (47)	0.87 (32)	137.6 (35)
Ma045	65.4 (71)	22.7 (80)	2.48 (81)	42.7 (55)	0.07 (76)	44.0 (74)
Ma046	156.8 (33)	82.9 (49)	1.79 (70)	73.9 (69)	0.60 (45)	119.8 (42)
Ma048	98.9 (55)	30.7 (76)	2.62 (82)	68.2 (64)	0.14 (70)	64.8 (67)
Ma049	43.0 (80)	32.6 (75)	0.92 (48)	10.4 (32)	0.07 (77)	37.8 (79)
Ma051	22.5 (85)	8.4 (84)	2.37 (78)	14.1 (38)	0.01 (85)	15.5 (85)
Ma052	125.0 (44)	64.9 (61)	1.82 (71)	60.1 (60)	0.38 (52)	95 (51)
Ma054	105.7 (51)	9.9 (82)	3.44 (85)	95.8 (77)	0.05 (79)	57.8 (70)
Ma055	74.5 (68)	63.6 (62)	0.56 (38)	10.9 (33)	0.22 (64)	69.0 (66)
Ma057	102.0 (53)	37.4 (74)	2.40 (80)	64.6 (63)	0.18 (67)	69.7 (65)
Ma060	50.0 (77)	23.7 (79)	2.00 (75)	26.3 (50)	0.06 (78)	36.9 (81)
Ma062	298.1 (6)	177.8 (16)	1.53 (62)	120.3 (80)	2.44 (10)	237.9 (9)
Ma064	81.7 (61)	63.2 (63)	0.86 (46)	18.4 (43)	0.24 (62)	72.5 (62)
Ma066	40.5 (81)	20.3 (81)	1.90 (72)	20.3 (45)	0.04 (81)	30.4 (83)
Ma072	106.9 (50)	95.8 (44)	0.40 (34)	11.1 (34)	0.47 (48)	101.4 (48)
Ma073	218.1 (22)	91.1 (48)	2.21 (77)	127.1 (81)	0.92 (31)	154.6 (30)
Ma074	56.7 (75)	49.9 (67)	0.46 (35)	6.8 (29)	0.13 (71)	53.3 (72)
Ma075	39.8 (82)	39.8 (73)	0.01 (3)	0.05 (3)	0.08 (75)	39.8 (78)
Ma076	97.7 (57)	72.3 (59)	0.99 (50)	25.4 (49)	0.33 (53)	85.0 (53)
Ma077	60.5 (74)	59.2 (65)	0.09 (17)	1.3 (14)	0.17 (68)	59.8 (69)
Ma079	62.8 (73)	49.6 (68)	0.80 (45)	13.2 (37)	0.15 (69)	56.2 (71)
Ma080	140.9 (40)	122.8 (32)	0.49 (36)	18.1 (42)	0.80 (39)	131.9 (39)
Ma083	104.8 (52)	57.3 (66)	1.72 (68)	47.6 (58)	0.28 (59)	81.1 (55)
Ma085	46.9 (78)	40.1 (72)	0.55 (37)	6.8 (28)	0.09 (74)	43.5 (77)
Ma091	65.2 (72)	61.9 (64)	0.20 (25)	3.3 (21)	0.19 (66)	63.6 (68)
Ma096	148 (39)	112.3 (37)	0.92 (49)	35.7 (54)	0.77 (40)	130.2 (40)
Ma098	54.8 (76)	46.6 (69)	0.57 (39)	8.2 (31)	0.12 (72)	50.7 (73)
Ma100	75.9 (67)	74.8 (58)	0.06 (14)	1.0 (10)	0.27 (61)	75.3 (61)
Ma104	240.9 (15)	138.3 (27)	1.62 (65)	102.6 (78)	1.53 (23)	189.6 (21)
Ma105	126.2 (43)	121.6 (33)	0.15 (22)	4.7 (25)	0.71 (41)	123.9 (41)
Ma106	82.6 (60)	81.4 (51)	0.06 (15)	1.1 (13)	0.31 (54)	82.0 (54)
Ma107	80 (64)	78.9 (54)	0.05 (13)	1.0 (11)	0.29 (58)	79.4 (59)
Ma108	118.7 (47)	117.9 (35)	0.03 (6)	0.8 (8)	0.65 (42)	118.3 (43)
Ma109	149.7 (37)	118.8 (34)	0.78 (44)	30.8 (52)	0.82 (36)	134.2 (36)
Ma110	73.6 (69)	70.1 (60)	0.19 (23)	3.5 (22)	0.24 (63)	71.8 (63)
Ma111	124 (45)	102.8 (41)	0.65 (43)	21.2 (46)	0.59 (46)	113.4 (46)
Ma112	98.9 (55)	82.6 (50)	0.63 (42)	16.3 (41)	0.38 (51)	90.8 (52)
Ma113	78.3 (65)	9.0 (83)	3.36 (84)	69.3 (66)	0.04 (83)	43.6 (76)
Ma114	99 (54)	93.2 (46)	0.23 (27)	5.8 (27)	0.43 (50)	96.1 (50)
Ma115	189.9 (28)	94.7 (45)	1.90 (73)	95.1 (75)	0.83 (34)	142.3 (32)
Ma116	275.3 (8)	202.6 (10)	1.01 (51)	72.7 (68)	2.56 (7)	238.9 (8)
Ma117	96.4 (58)	46.4 (70)	1.97 (74)	50 (59)	0.21 (65)	71.4 (64)
Ma118	118.2 (48)	115.4 (36)	0.09 (18)	2.7 (20)	0.63 (43)	116.8 (44)
Ma119	138.1 (41)	130.4 (29)	0.22 (26)	7.7 (30)	0.83 (33)	134.2 (37)
Ma120	45.8 (79)	41.6 (71)	0.35 (32)	4.2 (24)	0.09 (73)	43.7 (75)
Ma121	172.6 (31)	103.3 (40)	1.53 (61)	69.3 (65)	0.82 (35)	137.9 (33)
Ma122	231.9 (17)	124.1 (31)	1.77 (69)	107.8 (79)	1.32 (26)	178.0 (24)
Ma123	156 (35)	111.9 (39)	1.08 (53)	44.1 (56)	0.81 (38)	134.0 (38)

Continued on the next page

ادامه در صفحه بعد

Line	GMP	HM	ATI	DI	MpSTI	MsSTI
Ma001	150.7 (29)	133.9 (32)	17243 (81)	0.32 (70)	2.93 (25)	0.75 (38)
Ma002	194.8 (18)	194.7 (18)	1869 (49)	1.63 (9)	3.24 (22)	5.23 (18)
Ma003	218.0 (14)	214.3 (14)	12900 (74)	1.16 (19)	6.86 (13)	6.08 (15)
Ma004	170.7 (25)	165.9 (26)	10360 (71)	0.77 (38)	2.89 (26)	2.05 (27)
Ma005	229.1 (11)	229.0 (8)	1911 (50)	1.96 (6)	6.09 (14)	10.18 (5)
Ma006	146.7 (30)	146.7 (29)	400 (30)	1.31 (16)	1.01 (34)	1.76 (28)
Ma007	221.3 (12)	221.3 (12)	266 (24)	2.02 (5)	5.09 (16)	9.25 (8)
Ma008	171.1 (24)	171.1 (24)	30 (6)	1.58 (10)	1.81 (29)	3.33 (22)
Ma009	243.4 (5)	243.4 (5)	427 (34)	2.21 (3)	7.46 (11)	13.50 (4)
Ma010	270.5 (2)	270.5 (2)	117 (15)	2.49 (2)	11.29 (4)	20.75 (1)
Ma011	248.0 (4)	243.7 (4)	16984 (80)	1.31 (14)	11.56 (2)	10.12 (6)
Ma012	234.4 (8)	225.5 (10)	23034 (84)	0.93 (32)	11.15 (5)	6.69 (13)
Ma013	155.6 (28)	155.6 (28)	226 (22)	1.41 (11)	1.25 (31)	2.25 (26)
Ma014	214.4 (16)	209.3 (16)	15073 (78)	1.02 (26)	6.93 (12)	5.29 (17)
Ma015	238.1 (6)	230.0 (7)	22410 (83)	0.99 (27)	11.51 (3)	7.35 (12)
Ma016	169.0 (27)	168.8 (25)	1850 (48)	1.37 (13)	1.88 (28)	2.91 (24)
Ma017	115.4 (44)	114.4 (44)	2559 (54)	0.72 (44)	0.49 (43)	0.54 (45)
Ma018	212.0 (17)	194.8 (17)	28354 (85)	0.56 (53)	9.78 (8)	3.41 (20)
Ma019	186.4 (21)	183.9 (22)	8404 (69)	1.05 (23)	3.53 (20)	3.38 (21)
Ma020	132.9 (37)	128.3 (38)	7045 (68)	0.55 (54)	1.13 (32)	0.71 (40)
Ma021	188.0 (20)	184.1 (20)	10723 (72)	0.94 (31)	3.96 (18)	3.23 (23)
Ma022	193.7 (19)	193.7 (19)	314 (29)	1.76 (8)	3.00 (23)	5.41 (16)
Ma023	219.9 (13)	219.7 (13)	3232 (59)	1.77 (7)	5.39 (15)	8.30 (10)
Ma024	184.8 (22)	184.1 (21)	4503 (64)	1.31 (15)	2.94 (24)	3.79 (19)
Ma025	307.3 (1)	295.2 (1)	40235 (86)	1.21 (17)	33.21 (1)	19.57 (2)
Ma026	258.4 (3)	258.1 (3)	4711 (65)	2.06 (4)	10.33 (6)	15.75 (3)
Ma027	214.8 (15)	214.0 (15)	-5818 (1)	2.56 (1)	3.78 (19)	9.82 (7)
Ma028	232.0 (9)	227.8 (9)	15333 (79)	1.2 (18)	8.96 (9)	7.66 (11)
Ma031	80.1 (57)	80.1 (57)	289 (27)	0.68 (48)	0.10 (56)	0.16 (56)
Ma032	80.4 (56)	80.4 (56)	40 (7)	0.74 (42)	0.09 (58)	0.17 (54)
Ma035	19.2 (84)	9.8 (85)	906 (40)	0.01 (86)	0.01 (81)	0.01 (85)
Ma036	28.5 (82)	28.5 (80)	23 (5)	0.25 (74)	0.01 (84)	0.01 (80)
Ma037	80.8 (55)	80.8 (55)	2 (3)	0.75 (39)	0.09 (57)	0.17 (53)
Ma038	31.0 (80)	31.0 (79)	18 (4)	0.28 (73)	0.01 (83)	0.01 (77)
Ma039	112.7 (47)	112.7 (45)	81 (13)	1.03 (25)	0.35 (47)	0.63 (44)
Ma040	76.1 (60)	76.1 (59)	94 (14)	0.68 (47)	0.08 (63)	0.13 (59)
Ma042	11.4 (86)	9.6 (86)	124 (16)	0.02 (83)	0.01 (86)	0.01 (86)
Ma043	97.1 (49)	94.5 (50)	3280 (60)	0.45 (60)	0.30 (48)	0.22 (51)
Ma044	137.0 (32)	136.5 (30)	2439 (52)	0.97 (30)	0.89 (36)	1.15 (31)
Ma045	38.5 (76)	33.7 (77)	1209 (43)	0.08 (81)	0.02 (74)	0.01 (78)
Ma046	114.0 (45)	108.4 (47)	6203 (66)	0.41 (63)	0.68 (41)	0.35 (48)
Ma048	55.1 (70)	46.8 (72)	2766 (56)	0.09 (80)	0.07 (65)	0.02 (74)
Ma049	37.5 (77)	37.1 (76)	286 (26)	0.23 (75)	0.01 (79)	0.01 (76)
Ma051	13.8 (85)	12.3 (84)	143 (18)	0.03 (82)	0.01 (85)	0.01 (84)
Ma052	90.1 (52)	85.5 (52)	3983 (62)	0.32 (71)	0.27 (49)	0.14 (58)
Ma054	32.3 (79)	18.1 (82)	2280 (51)	0.01 (85)	0.03 (71)	0.01 (82)
Ma055	68.8 (64)	68.6 (64)	554 (36)	0.50 (57)	0.06 (67)	0.08 (64)
Ma057	61.7 (67)	54.7 (69)	2934 (57)	0.13 (77)	0.09 (61)	0.03 (71)

Continued on the next page

ادامه در صفحه بعد

Line	GMP	HM	ATI	DI	MpSTI	MsSTI
Ma060	34.4 (78)	32.2 (78)	667 (37)	0.11 (78)	0.01 (78)	0.01 (79)
Ma062	230.2 (10)	222.7 (11)	20373 (82)	0.98 (29)	9.91 (7)	6.51 (14)
Ma064	71.9 (62)	71.3 (63)	975 (41)	0.46 (59)	0.08 (62)	0.09 (62)
Ma066	28.6 (81)	27.0 (81)	427 (33)	0.10 (79)	0.01 (82)	0.01 (81)
Ma072	101.2 (48)	101 (48)	827 (39)	0.8 (35)	0.25 (50)	0.37 (47)
Ma073	140.9 (31)	128.5 (37)	13177 (75)	0.35 (67)	1.99 (27)	0.64 (42)
Ma074	53.2 (71)	53.1 (70)	268 (25)	0.41 (62)	0.02 (72)	0.03 (69)
Ma075	39.8 (75)	39.8 (75)	2 (2)	0.37 (64)	0.01 (80)	0.01 (75)
Ma076	84.0 (53)	83.1 (53)	1573 (45)	0.50 (58)	0.15 (53)	0.15 (57)
Ma077	59.8 (68)	59.8 (67)	59 (9)	0.54 (56)	0.03 (69)	0.05 (66)
Ma079	55.8 (69)	55.4 (68)	541 (35)	0.37 (66)	0.03 (70)	0.03 (68)
Ma080	131.6 (39)	131.2 (34)	1750 (46)	0.99 (28)	0.73 (39)	1.02 (32)
Ma083	77.5 (59)	74.1 (61)	2713 (55)	0.29 (72)	0.14 (54)	0.08 (63)
Ma085	43.3 (74)	43.2 (74)	217 (21)	0.32 (69)	0.01 (76)	0.02 (73)
Ma091	63.5 (66)	63.5 (65)	155 (19)	0.55 (55)	0.04 (68)	0.07 (65)
Ma096	128.9 (40)	127.7 (39)	3388 (61)	0.79 (37)	0.77 (38)	0.82 (36)
Ma098	50.5 (72)	50.4 (71)	305 (28)	0.37 (65)	0.02 (73)	0.03 (70)
Ma100	75.3 (61)	75.3 (60)	57 (8)	0.68 (46)	0.07 (64)	0.13 (60)
Ma104	182.5 (23)	175.7 (23)	13786 (77)	0.74 (43)	4.07 (17)	2.48 (25)
Ma105	123.9 (41)	123.9 (41)	426 (32)	1.08 (21)	0.52 (42)	0.89 (34)
Ma106	82.0 (54)	82.0 (54)	68 (11)	0.74 (40)	0.10 (55)	0.18 (52)
Ma107	79.4 (58)	79.4 (58)	60 (10)	0.72 (45)	0.09 (60)	0.16 (55)
Ma108	118.3 (42)	118.3 (42)	70 (12)	1.08 (22)	0.42 (44)	0.76 (37)
Ma109	133.4 (36)	132.5 (33)	3025 (58)	0.87 (33)	0.84 (37)	0.98 (33)
Ma110	71.8 (63)	71.8 (62)	187 (20)	0.62 (50)	0.06 (66)	0.10 (61)
Ma111	112.9 (46)	112.4 (46)	1760 (47)	0.79 (36)	0.42 (45)	0.53 (46)
Ma112	90.4 (51)	90.0 (51)	1083 (42)	0.64 (49)	0.17 (52)	0.22 (50)
Ma113	26.5 (83)	16.1 (83)	1353 (44)	0.01 (84)	0.01 (75)	0.01 (83)
Ma114	96.0 (50)	96.0 (49)	413 (31)	0.81 (34)	0.20 (51)	0.32 (49)
Ma115	134.1 (34)	126.4 (40)	9388 (70)	0.44 (61)	1.37 (30)	0.63 (43)
Ma116	236.1 (7)	233.4 (6)	12631 (73)	1.38 (12)	8.89 (10)	8.89 (9)
Ma117	66.9 (65)	62.7 (66)	2461 (53)	0.21 (76)	0.09 (59)	0.04 (67)
Ma118	116.8 (43)	116.8 (43)	234 (23)	1.04 (24)	0.41 (46)	0.71 (41)
Ma119	134.2 (33)	134.1 (31)	764 (38)	1.14 (20)	0.73 (40)	1.19 (30)
Ma120	43.6 (73)	43.6 (73)	134 (17)	0.35 (68)	0.01 (77)	0.02 (72)
Ma121	133.5 (35)	129.2 (36)	6807 (67)	0.57 (52)	1.12 (33)	0.74 (39)
Ma122	169.6 (26)	161.7 (27)	13462 (76)	0.62 (51)	3.26 (21)	1.73 (29)
Ma123	132.1 (38)	130.3 (35)	4289 (63)	0.74 (41)	0.90 (35)	0.85 (35)

اعداد داخل پرانتز، نشان‌دهنده رتبه‌بندی لاین‌ها برای هر شاخص است. برای نام شاخص‌ها به جدول ۳ رجوع شود.

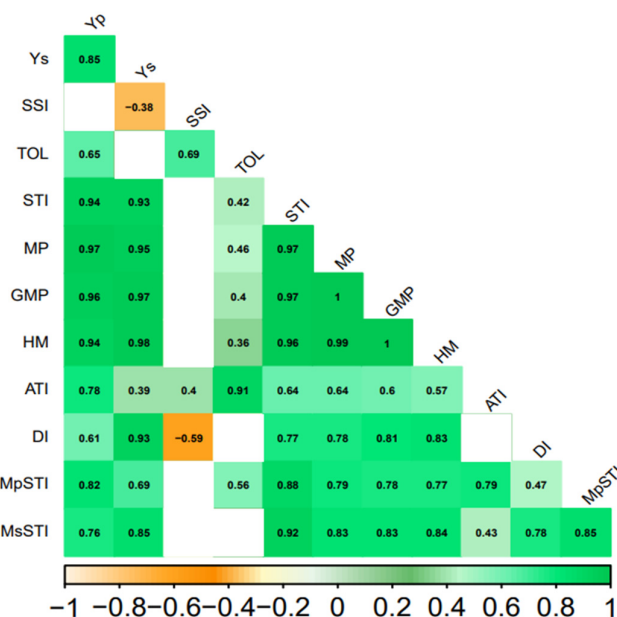
The numbers in the parentheses indicate the ranking of the lines for each index. Refer to Table 3 for the names of indices.

(به ترتیب $-0/24$ و $-0/51$) بود (Anwaar et al., 2020; Feizi et al., 2020). سایر شاخص‌ها به‌جز شاخص TOL همبستگی مثبت معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط تنش شوری داشتند که بیشترین آن‌ها مربوط به HM ($0/98$)، GMP ($0/97$)، MP ($0/95$)، STI ($0/93$) و DI ($0/93$) و

بیشترین میزان این همبستگی مربوط به شاخص‌های MP ($0/97$)، GMP ($0/96$)، STI ($0/94$)، HM ($0/94$)، MpSTI ($0/82$) و ATI ($0/78$) بود. عملکرد دانه در شرایط تنش همبستگی منفی معنی‌داری ($-0/38$) با شاخص SSI نشان داد که در پژوهش‌های دیگر نیز این همبستگی منفی

دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری، حاکی از این است که این شاخص‌ها بهترین و مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت غربال کردن لاین‌های ذرت متحمل به تنش شوری در پژوهش حاضر هستند. این نتیجه، در راستای یافته‌هایی است که بر روی گندم (Mehraban, et al., 2018)، گندم-چاودار (Farshadfar et al., 2013)، جو (Feizi et al., 2020) و آفتابگردان (Darvishzadeh et al., 2010) انجام شده است.

MsSTI (۰/۸۵) بود. شاخص MP میانگین تولید و بهره‌وری در هر دو شرایط نرمال و تنش است و به همین دلیل توانست لاین‌های متعلق به گروه A را به خوبی از سایر لاین‌ها متمایز کند. هولز (Hohls, 2001) معتقد است که انتخاب بر مبنای شاخص MP باید عملکرد را در هر دو شرایط نرمال و تنش افزایش دهد، مگر اینکه همبستگی بین عملکرد در دو شرایط به‌طور معنی‌داری منفی باشد. همبستگی مثبت بسیار معنی‌دار شاخص‌های STI، MP، GMP و HM با عملکرد



شکل ۲. ضرایب همبستگی پیرسون بین عملکرد دانه و شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری در لاین‌های ذرت. بر اساس نقشه گرمایی، جعبه‌های سبز و نارنجی به ترتیب نشان‌دهنده ضرایب همبستگی مثبت و منفی هستند به طوری که افزایش شدت رنگ دلالت بر ضرایب بزرگ‌تر دارد. جعبه‌های سفید نشان‌دهنده ضرایب غیرمعنی‌دار هستند.

Fig. 2. Correlation coefficients (Pearson) among grain yield and selection indices for stress tolerance in maize lines. Based on heatmap plots, green and orange boxes indicate positive and negative correlations, respectively; with increasing color intensity reflects a higher coefficient. The white boxes indicate non-significant correlations.

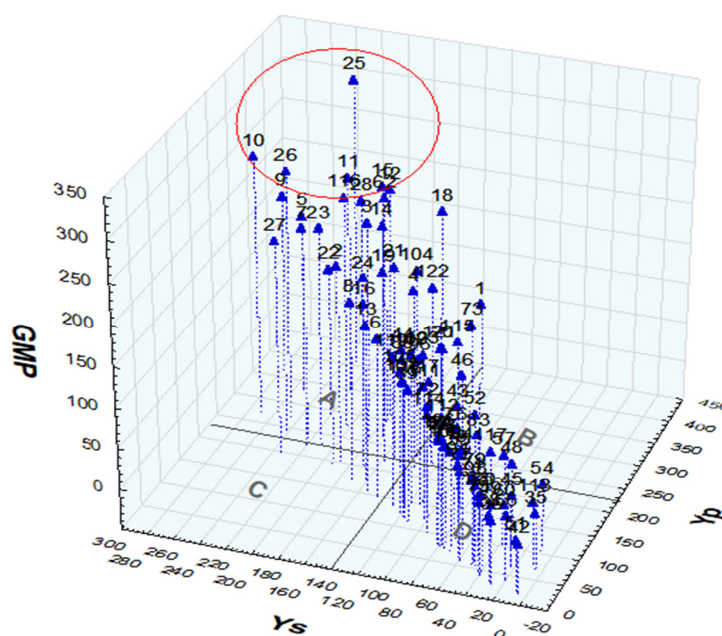
در بررسی نمودار سه‌بعدی عملکرد دانه در شرایط نرمال و تحت تنش شوری با شاخص GMP ملاحظه می‌شود که لاین‌های Ma009، Ma011، Ma026، Ma010، Ma025، Ma015، Ma012، Ma116، Ma028 و Ma062 که در گروه A قرار گرفتند، دارای عملکرد بالایی در هر دو شرایط نرمال و تنش بودند (شکل ۳). هیچ لاینی در گروه B قرار نگرفت. لاین Ma027 که در گروه C قرار گرفت، در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط نرمال ارجحیت بیشتری در مقایسه با سایر لاین‌ها داشت، بدین معنی که به‌طور خاص برای کشت در شرایط تنش شوری با عملکرد بالا سازگار شده

بود و در دسته لاین‌های متحمل به تنش قرار داشت. سایر لاین‌ها که در گروه D قرار داشتند دارای عملکرد پایینی در هر دو شرایط نرمال و تنش بودند. تفکیک ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با استفاده از نمودار سه‌بعدی توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Mehraban et al., 2018; Lestari et al., 2019).

نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مبتنی بر ماتریس همبستگی نشان داد که دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک، در مجموع ۹۳ درصد از کل تغییرات داده‌ها را به خود اختصاص دادند. مؤلفه اول ۷۰/۸ درصد از تغییرات

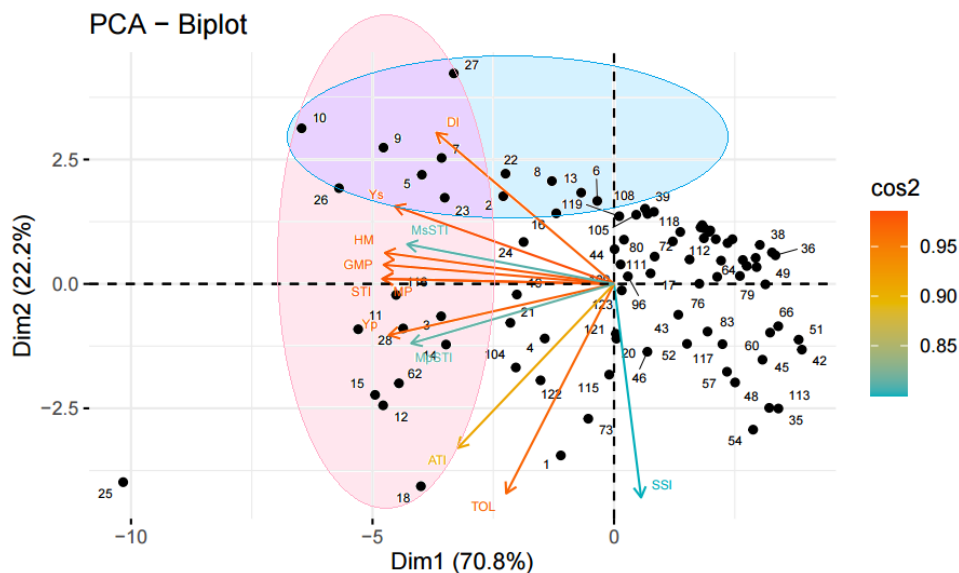
بودند، شناسایی شدند. این لاین‌ها عبارت بودند از لاین‌های Ma010، Ma026، Ma009، Ma027، Ma005، Ma007 و Ma023 که در ناحیه بالا و سمت چپ بای‌پلات قرار گرفتند. این لاین‌ها همبستگی بالایی با شاخص‌های DI، HM، GMP، STI و MP داشتند و مطابق با رتبه‌بندی لاین‌ها توسط این شاخص‌ها (جدول ۴) در زمره ۱۵ لاین برتر متحمل به تنش قرار گرفته بودند. لاین‌های Ma025، Ma018، Ma012، Ma015، Ma062 و Ma011 که در ناحیه پایین و سمت چپ بای‌پلات قرار گرفتند، مطابق با مؤلفه اول دارای عملکرد دانه بالایی در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری بوده و مطابق با مؤلفه دوم پایداری عملکرد کمتری داشتند. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۵) نشان داد که شاخص‌های GMP، HM، MP، STI، DI، MsSTI و MpSTI که همبستگی بالایی با مؤلفه اول نشان دادند و دارای بیشترین مقادیر برای لاین‌های متحمل بودند، در گروه اول قرار گرفتند. شاخص‌های SSI، ATI و TOL که دارای همبستگی بالایی با مؤلفه دوم بوده و کمتر بودن مقادیر آن‌ها بیانگر تحمل بیشتر لاین‌ها به تنش شوری است، در گروه دوم واقع شدند.

بین داده‌ها را توجیه کرد و دارای همبستگی منفی بسیار معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش و نیز شاخص‌های STI، MP، GMP، HM، DI، MpSTI و MsSTI بود (جدول ۵). لاین‌هایی که مؤلفه اول منفی‌تری دارند دارای مقادیر بیشتر عملکرد دانه و شاخص‌های مذکور هستند (جدول ۴)؛ بنابراین، مؤلفه اول تحت عنوان پتانسیل عملکرد در هر دو شرایط نرمال و تنش نام‌گذاری شد و توانست لاین‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش را از سایر لاین‌ها جدا نماید. مؤلفه دوم با توجیه ۲۲/۲ درصد از تغییرات، دارای همبستگی مثبت با عملکرد دانه در شرایط تنش شوری و شاخص‌های MP، STI، GMP، HM، MsSTI و DI و نیز همبستگی منفی با عملکرد دانه در شرایط نرمال و شاخص‌های MpSTI، ATI، TOL و SSI بود؛ بنابراین، این مؤلفه را می‌توان مؤلفه تحمل و یا حساسیت به شوری نامید که قادر به تمایز لاین‌های پایدار از سایر لاین‌ها بود. از این‌رو، بر اساس بای‌پلات ترسیمی، لاین‌هایی که دارای مقادیر منفی و بالای مؤلفه اول و مقادیر مثبت و بالای مؤلفه دوم بودند (لاین‌های قرارگرفته در ناحیه بنفش‌رنگ در شکل ۴)، به‌عنوان لاین‌های پایداری که از عملکرد بالای دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش برخوردار



شکل ۳. نمودار سه‌بعدی پراکنش لاین‌های ذرت برای گزینش لاین‌های متحمل به شوری بر اساس عملکرد دانه در شرایط نرمال (Y_p)، عملکرد دانه در شرایط تنش شوری (Y_s) و شاخص GMP

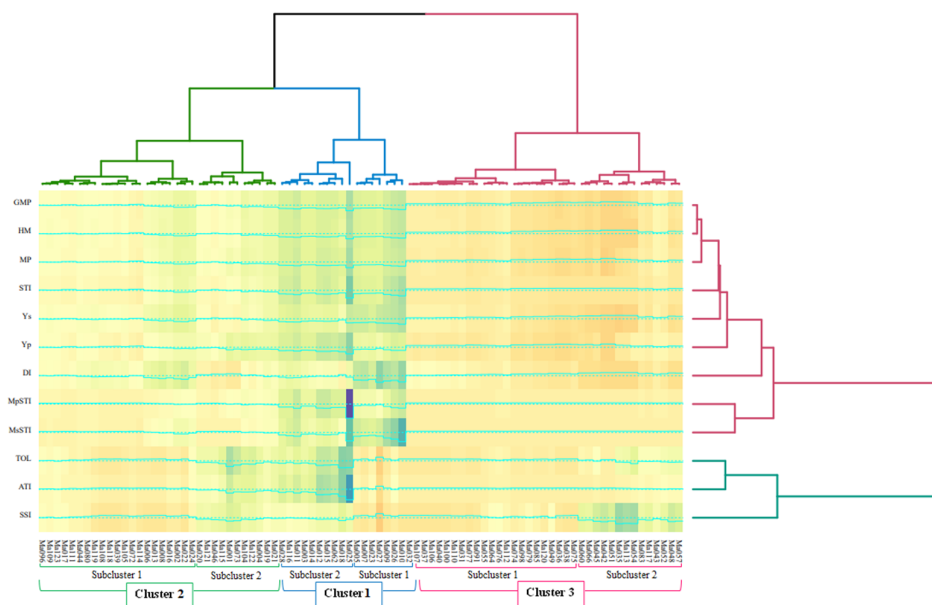
Fig. 3. 3D plot of dispersion of maize lines for selection of salinity tolerant lines based on grain yield under normal (Y_p) and salinity stress (Y_s) conditions and GMP index.



شکل ۴. نمودار بای پلات لاین‌های ذرت و شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری بر اساس دو مؤلفه اصلی اول
Fig. 4. Biplot graph of maize lines and selection indices for salinity stress tolerance based on the first two principal components.

بودند که مطابق با مؤلفه دوم از همدیگر تفکیک شدند، به طوری که در هر خوشه، لاین‌هایی که از پایداری عملکرد بالایی در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال برخوردار بودند در زیرخوشه اول و لاین‌هایی که پایداری عملکرد کمتری داشتند در زیرخوشه دوم قرار گرفتند. بدین ترتیب، لاین‌های Ma007, Ma023, Ma027, Ma009, Ma026, Ma010 و Ma005 که در خوشه اول و زیرخوشه اول قرار داشتند، به عنوان لاین‌های متحمل به تنش شوری با پایداری بالای عملکرد (حساسیت پایین به تنش شوری) و لاین‌های قرار گرفته در خوشه اول زیرخوشه دوم (Ma018, Ma025, Ma011, Ma003, Ma014, Ma012, Ma015, Ma062 و Ma116 و Ma028) به عنوان لاین‌های متحمل به تنش شوری با پایداری کمتر عملکرد شناخته شدند. این لاین‌ها، لاین‌های انتخابی توسط شاخص‌های STI, MP, GMP و HM بودند؛ بنابراین، امکان گزینش در بین لاین‌های مزبور برای تحمل به شوری وجود دارد.

جهت تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها برای گروه‌بندی لاین‌های ذرت مورد مطالعه، از روش آماره Gap استفاده شد. بر اساس این روش، حداکثر مقدار آماره Gap از طریق مقایسه مجموع تفاضلات درون خوشه‌ای داده‌ها با مقادیر مورد انتظار آن‌ها، برای تعداد سه خوشه به دست آمد که مقدار بهینه خوشه‌ها است (Arzhang et al., 2021). بدین ترتیب، ۱۸ لاین در خوشه اول جزو لاین‌های متحمل، ۳۷ لاین در خوشه دوم جزو لاین‌های نیمه‌متحمل و ۳۸ لاین در خوشه سوم جزو لاین‌های حساس طبقه‌بندی شدند (شکل ۵ و ۶). این گروه‌بندی دارای الگوی کاملاً مشابهی با تفکیک لاین‌ها توسط مؤلفه اول تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بود و لاین‌هایی که در سمت چپ نمودار بای پلات قرار گرفته بودند و دارای عملکرد دانه بالایی در هر دو شرایط نرمال و تنش بودند، در خوشه اول قرار گرفتند. به همین ترتیب لاین‌هایی که در بخش میانی نمودار بای پلات قرار داشتند در خوشه دوم و لاین‌هایی قرار گرفته در سمت راست نمودار، در خوشه سوم گروه‌بندی شدند. علاوه بر این، هر یک از این خوشه‌ها دارای دو زیرخوشه



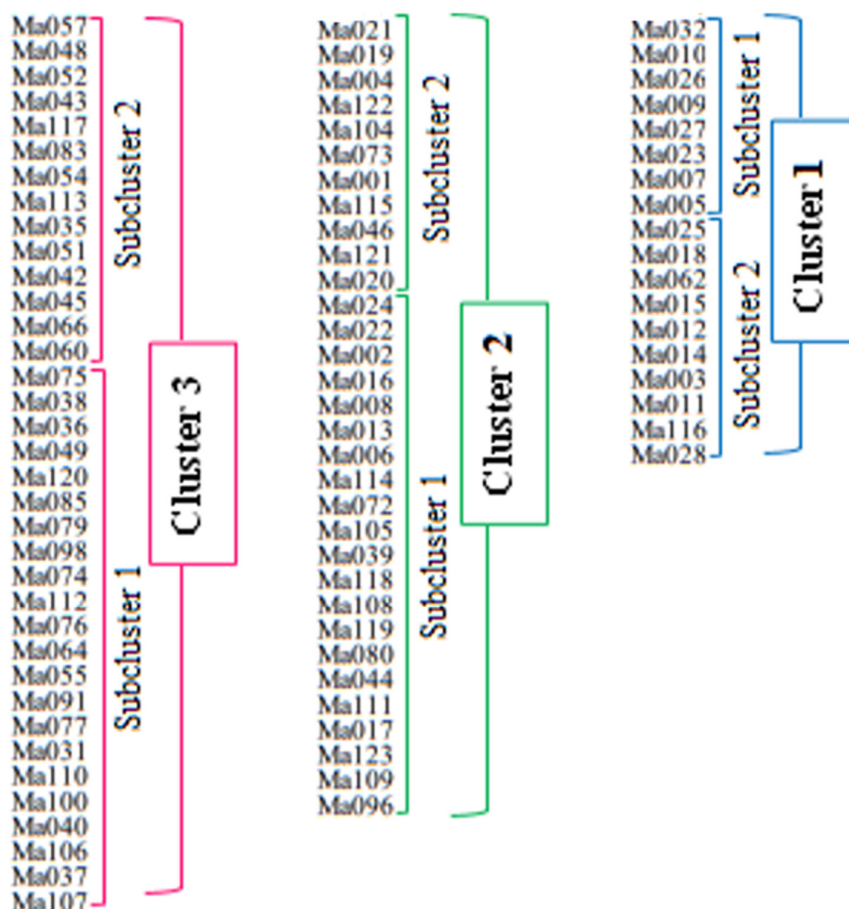
شکل ۵. خوشه‌بندی سلسله مراتبی و نمودار حرارتی لاین‌های ذرت و شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری

Fig. 5. Hierarchical clustering and heatmap of maize lines and selection indices for salinity stress tolerance

جدول ۵. مقادیر ویژه، سهم نسبی و تجمعی و بردارهای ویژه دو مؤلفه اصلی اول برای عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش شوری و شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری در لاین‌های ذرت

Table 5. Eigenvalues, relative and cumulative proportions, and eigenvectors of the first two principal components for grain yield under normal (Yp) and salinity stress (Ys) conditions and selection indices for salinity stress tolerance in maize lines

Indices	شاخص‌ها	مؤلفه اول First component	مؤلفه دوم Second component
Potential Yield (Yp)	عملکرد دانه در شرایط نرمال	-0.964	-0.212
Stress Yield (Ys)	عملکرد دانه در شرایط تنش شوری	-0.938	0.323
Stress Susceptibility Index (SSI)	شاخص حساسیت به تنش	0.116	-0.887
Tolerance Index (TOL)	شاخص تحمل	-0.461	-0.870
Stress Tolerance Index (STI)	شاخص تحمل به تنش	-0.992	0.021
Mean Productivity (MP)	میانگین بهره‌وری	-0.989	0.021
Geometric Mean Productivity (GMP)	میانگین هندسی بهره‌وری	-0.986	0.079
Harmonic Mean (HM)	میانگین هارمونیک	-0.981	0.129
Abiotic Tolerance Index (ATI)	شاخص تحمل غیرزیستی	-0.669	-0.681
Drought resistance Index (DI)	شاخص مقاومت به خشکی	-0.761	0.628
Modified Stress Tolerance Index in normal condition (MpSTI)	شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط نرمال	-0.868	-0.247
Modified Stress Tolerance Index in stress condition (MsSTI)	شاخص تحمل به تنش تغییر یافته در شرایط تنش	-0.885	0.165
Eigenvalues	مقادیر ویژه	8.50	2.66
Percentage of variation	درصد واریانس نسبی	70.80	22.20
Cumulative percentage	درصد واریانس تجمعی	70.80	93.01



شکل ۶. نحوه قرارگیری لاین‌های ذرت در خوشه‌های اول، دوم و سوم و نیز در زیرخوشه‌های اول و دوم مربوط به هر خوشه، بر اساس خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی لاین‌های ذرت با استفاده از شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش شوری

Fig. 6. Maize lines located in clusters 1, 2, and 3 as well as in subclusters 1 and 2 related to each cluster, based on hierarchical clustering of maize lines using selection indices for salinity stress tolerance

نتیجه‌گیری نهایی

پایدار ذرت در شدت تنش شوری AdSm-1 به کمک روش‌های آماری چندمتغیره شناسایی شدند. توصیه می‌شود که لاین‌های ذرت Ma027 ، Ma009 ، Ma026 ، Ma010 ، Ma023 ، Ma007 و Ma005 که تحت عنوان لاین‌های متحمل به تنش شوری با پایداری بالای عملکرد و همچنین لاین‌های Ma012 ، Ma015 ، Ma062 ، Ma018 ، Ma025 ، Ma014 ، Ma003 ، Ma011 ، Ma016 و Ma028 که تحت عنوان لاین‌های متحمل به تنش شوری با پایداری کمتر عملکرد شناسایی شدند، به‌عنوان لاین‌های والدی در برنامه‌های آتی به‌نژادی در راستای بهبود تحمل به تنش شوری و عملکرد دانه پایدار در نظر گرفته شوند.

بر اساس یافته‌های موجود، پژوهش حاضر به‌عنوان اولین مطالعه بر روی تعداد زیادی لاین ذرت (۸۶ لاین) در سطح کشور، به ارزیابی تحمل به تنش شوری با استفاده از شاخص‌های گزینش پرداخت. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، اهمیت کاربرد شاخص‌های گزینش برای تحمل به تنش را به‌عنوان ابزاری قابل‌اعتماد و سودمند جهت بهبود تحمل به تنش شوری در لاین‌های ذرت آشکار نمود. بر این اساس، شاخص‌های STI ، MP ، GMP و HM به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت گزینش لاین‌های متحمل و

منابع

- Acosta-Motos, J.R., Ortuño, M.F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M.J., Hernandez, J.A., 2017. Plant responses to salt stress: Adaptive Mechanisms. *Agronomy*. 7, 18.
- Anwaar, H.A., Perveen, R., Mansha, M.Z., Abid, M., Sarwar, Z.M., Aatif, H.M., Umar, U.U.D., Sajid, M., Aslam, H.M.U., Alam, M.M., Rizwan, M., Ikram, R.M., Alghanem, S.M.S., Rashid, A., Khan, K.A., 2020. Assessment of grain yield indices in response to drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences*. 27, 1818-1823.
- Arzhang, S., Darvishzadeh, R., Alipour, H., 2021. Evaluation of genetic diversity of maize lines (*Zea mays* L.) under normal and salinity stress conditions. *Cereal Research*. 11, 243-266. [In Persian].
- Blum, A., 1988. *Plant Breeding for Stress Environment*. CRC press. Boca Raton, FL. Pp. 38-78.
- Bonea, D., 2020. Grain yield and drought tolerance indices of maize hybrids. *Notule Scientia Biologica*. 12, 376-386.
- Clarke, J.M., Depauw, R.M., Townley-Smith, T.F., 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science*. 32, 723-728.
- Darvishzadeh, R., Pirzad, A., Hatami-Maleki, H., Poormohammad Kiani, S., Sarrafi, A., 2010. Evaluation of the reaction of sunflower inbred lines and their F1 hybrids to drought conditions using various stress tolerance indices. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 8, 1037-1046.
- Ekbic, E., Cagiran, C., Korkmaz, K., Aarsal Kose, M., Aras, V., 2017. Assessment of watermelon accessions for salt tolerance using stress tolerance indices. *Ciência e Agrotecnologia*. 41, 616-625.
- El-Wakeel, S.E., Abdel-Azeem, A.M., Mostafa, E.E.I., 2019. Assessment of salinity stress tolerance in some barley genotypes. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*. 64, 195-206.
- FAO, 2016. *FAO Soils Portal*. Available at: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affected-soils/en/>
- FAO. 2022a. *Global Symposium on Salt-Affected Soils: Outcome document*. Rome.
- FAO. 2022b. *Halt soil salinization, boost soil productivity – Proceedings of the Global Symposium on Salt-affected Soils*. 20–22 October 2021. Rome.
- Farshadfar, E., Mohammadi, R., Farshadfar, M., Dabiri, S., 2013. Relationships and repeatability of drought tolerance indices in wheat-rye disomic addition lines. *Australian Journal of Crop Science*. 7, 130-138.
- Farshadfar, E., Sutka, J., 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungarica*. 50, 411-416.
- Feizi, M., Solouki, M., Sadeghzadeh, B., Fakheri, B., Mohammadi, S.A., 2020. Evaluation of drought tolerance indices for barley landraces under irrigated and dry conditions. *Bioscience Journal*. 36, 1518-1527.
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress: Proceedings of the International Symposium, Taiwan*. Pp. 257-270.
- Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 897-907.
- Fortmeier, R., Schubert, S., 1995. Salt tolerance of maize (*Zea mays* L.): The role of sodium exclusion. *Plant, Cell and Environment*. 18, 1041-1047.
- Gene, Y., Oldach, K., Verbly, A.P., Lott, G., Hassan, M., Tester, M., Wallwork, H., McDonald, G.K., 2010. Sodium exclusion QTL associated with improved seedling growth in bread wheat under salinity stress. *Theoretical and Applied Genetics*. 121, 877-94.
- Hohls, T., 2001. Conditions under which selection for mean productivity, tolerance to environmental stress, or stability should be used to improve yield across a range of contrasting environments. *Euphytica*. 120, 235-245.
- Jafari, A., Paknejad, F., Jami Al-Ahmadi, M., 2009. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Plant Production*. 3, 33-38.
- Kandel, M., Ghimire, S.K., Ojha, B.R., Shrestha, J., 2019. Evaluation of heat stress tolerance indices in maize inbred lines. *Malaysian Journal of Applied Sciences*. 4, 57-68.

- Katerji, N., Van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Karam, F., Mastroruilli, M., 1994. Effect of salinity on emergence and on water stress and early seedling growth of sunflower and maize. *Agricultural Water Management*. 26, 81-91.
- Lan, J., 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agric Boreali-Occidentalis Sinica*. 7, 85-87.
- Lestari, A.P., Suwarno, Trikoesoemaningtyas, Sopandie, D., Aswidinnoor, H., 2019. Estimation for stress tolerance indices of rice genotypes in low nitrogen condition. *The Agricultural Science Society of Thailand*. 52, 180-190.
- Lohaus, G., Hussmann, M., Pennewiss, K., Schneider, H., Zhu, Jian-Jun., Sattelmacher, Burkhard., 2000. Solute balance of a maize (*Zea mays* L.) source leaf as affected by salt treatment with special emphasis on phloem retranslocation and ion leaching. *Journal of Experimental Botany*. 51, 1721-1732.
- Mehraban, A., Tobe, A., Gholipouri, A., Amiri, E., Ghafari, A., Rostaii, M., 2018. Evaluation of drought tolerance indices and yield stability of wheat cultivars to drought stress in different growth stage. *World Journal of Environmental Biosciences*. 7, 8-14.
- Mitra, J., 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*. 80, 758-762.
- Moosavi, S.S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M.R., Zali, A.A., Dashti, H., Pourshahbazi, A., 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*. 12, 165-178.
- Munns, R., Day, D.A., Fricke, W., Watt, M., Arsova, B., Barkla, B.J., Bose, J., Byrt, C.S., Chen, Z.H., Foster, K.J., Gilliam, M., Henderson, S.W., Jenkins, C.L.D., Kronzucker, H.J., Miklavcic, S.J., Plett, D., Roy, S.J., Shabala, S., Shelden, M.C., Soole, K.L., Taylor, N.L., Tester, M., Wege, S., Wegner, L.H., Tyerman, S.D., 2019. Energy costs of salt tolerance in crop plants. *New Phytologist*. 225, 1072-1090.
- Ray, D.K., Mueller, N.D., West, P.C., Foley, J.A., 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE*. 8, e66428.
- Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21, 943-946.
- Schneider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N., Kelly, J.D. Serna-Berna, R., Ibarra-Velarde, F., Enriquez, B., Gallegos, J., Vallejo, P., 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*. 37, 51-60.
- Shahrokhi, M., Khavari Khorasani, S., Ebrahimi, A., 2020. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of super sweet maize (*Zea mays* L. var. saccharata) inbred lines. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*. 42(3), 435-448.
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*. 98, 222-229.
- Smajgl, A., Toan, T.Q., Nhan, D.K., Ward, J., Trung, N.H., Tri, L.Q., Tri, V.P.D., Vu, P.T., 2015. Responding to rising sea levels in the Mekong Delta. *Nature Climate Change*. 5, 167-174.
- Wasae, A., 2021. Evaluation of drought stress tolerance based on selection indices in haricot bean varieties exposed to stress at different growth stages. *Hindawi: International Journal of Agronomy*. Article ID 6617874, 9 pages.
- Yassin, M., Fara, S.A., Hossain, A., Saneoka, H., El Sabagh, A., 2019. Assessment of salinity tolerance bread wheat genotypes: using stress tolerance indices. *Fresenius Environmental Bulletin*. 28, 4199-4217.