University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 17, No. 4, pp. 721-737 (Winter 2025)

https://doi.org/10.22077/ESCS.2024.6452.2215

Original article

Evaluation of diversity for yield and morphological traits in maize lines (*Zea mays* L.) under optimum and zinc deficiency conditions

M. Harati Rad[1], N. Mahdinezhad[2*], R. Darvishzadeh[3*], B.A. Fakheri[4], M. Jabari[5], S. Arzhang[6]

1. *Ph.D student of Plant Breeding, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran*
2. *Associated Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran*
3. *Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran*
4. *Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran*
5. *Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Higher Education Complex of Saravan. Saravan, Iran*
6. *Ph.D., Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran*

Received 6 June 2023; Accepted 23 August 2023

Extended abstract

Introduction

Maize is a fast-growing plant that absorbs a lot of nutrients from the soil, indicating the need for the availability of various nutrients, including micronutrients, during its growth and development. Zinc is one of the most important micronutrient elements for this plant, which has many roles. Zinc deficiency is one of the global problems for grain production, and the genotype of the plant has a major effect on the absorption of zinc from the soil or the use of zinc inside the plant. Investigations have shown that the accumulation of micronutrients in seeds is genetically controlled. Knowledge on genetic diversity, in addition to preserving the genetic reserves of plants, also helps to use them effectively and better in plant breeding programs. Study of genetic diversity is a process that reveal any difference or similarity among species, populations or individuals using special statistical methods and models on molecular or morphological traits.

Materials and methods

In this research, 95 maize inbre lines were assessed under optimum and zinc deficiency conditions using α-lattic design with two replications in Zabol Agriculture and Natural Resources Research Center, during 2 successive crop years (2020 and 2021). The investigated lines were obtained from Razi University of Kermanshah, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center and Seed and Plant Improvement Institute. Zinc treatment was applied before the beginning of the reproductive stage at the stage of 4, 6 and 10 leaf stages. Zinc fertilizer was added to the ground along with water in the early hours of the day (due to low air temperature). For each genotype in each experimental unit, five plants were randomly selected and the desired traits were measured. The number of 29 traits, including phenological, morphological and yield-related traits were measured. Combined analysis of variance of the studied traits in both environments was performed using SAS 9.4 software. Stepwise regression was performed using the "olsrr" package based on Pearson's correlation

* Corresponding authors: Nafiseh Mahdinezhad. E-Mail:nmahdinezhad@uoz.ac.ir; Reza Darvishzadeh. E-Mail: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

© 2025, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

coefficient; calculated using the "corrplot" package in R software. Also, in order to more accurately interpret the results of correlation and stepwise regression, path analysis was performed on the traits entered into the final regression model in PATH 2 software. Hierarchical clustering by Ward's method on standardized data was conducted by "cluster and factoexta" packages. Factor analysis were conducted in R software by means of the "FactoMineR" package.

Results and discussion

The results showed that there is a significant statistical difference among the studied lines in terms of all the investigated traits. Based on step-by-step regression and path analysis, the number of seeds in the cob and the weight of 100 seeds were determined as important traits affecting economic yield under optimum and zinc deficiency conditions. By cluster analysis, the studied lines were classified into 5 and 4 clusters, respectively, in terms of the investigated traits under zinc deficiency and optimal (normal) conditions. Based on mean comparison of investigated traits in clusters of the hierarchical method, 11 lines in the first cluster (Ma001, Ma023, Ma039, Ma043, Ma044, Ma057, Ma062, Ma065, Ma100, Ma112, Ma117) were identified as sensitive genotypes to zinc deficiency conditions. Thirty lines with the highest values for most of studied traits including Ma004, Ma006, Ma015, Ma017, Ma018, Ma019, Ma020, Ma021, Ma027, Ma030, Ma031, Ma032, Ma035, Ma038, Ma049, Ma055, Ma064, Ma072, Ma075, Ma096, Ma098, Ma104, Ma105, Ma107, Ma108, Ma111, Ma114, Ma123, G703, Simon in the fourth cluster were identified as tolerant genotypes to zinc deficiency conditions. The results of principal component analysis confirmed the results of cluster analysis. In optimum conditions, the first seven components and in zinc deficiency conditions, the first eight components had eigenvalues greater than one, which in total explained 79.77% and 78.99% of proportion of total variance, respectively.

Conclusion

The results showed that there is a wide diversity among the studied lines in terms of traits related to the seed yield in both optimum and zinc deficiency conditions, which is valuable for the exploitation of these lines in order to developing tolerant lines to withstand zinc deficiency stress. In this regard, in order to obtain hybrids tolerant to zinc deficiency with higher economic performance, it is suggested to cross tolerant lines in this research to benefit from the phenomena of transgressive segregation and heterosis.

Acknowledgement

The authors would like to express their sincere gratitude to the esteemed Research Deputy of Zabol University for the financial support provided for this project, identified by the code UOZ-GR-158-3014.

Keywords: Biplot, Cluster analysis, Path analysis, Micronutrient elements

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هفدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳

https://doi.org/10.22077/ESCS.2024.6452.2215

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع صفات مورفولوژیک و عملکرد لاین‌های ذرت (*Zea mays* L.) تحت شرایط بهینه و کمبود روی

مریم هراتی‌راد[۱]، نفیسه مهدی‌نژاد[۲*]، رضا درویش‌زاده[۳*]، براتعلی فاخری[۴]، میترا جباری[۵]، سرور ارژنگ[۶]

۱. دانشجوی دکتری، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل
۲. دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل
۳. استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه
۴. استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل
۵. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان. سراوان
۶. دانش‌آموخته دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه. ارومیه

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
بای‌پلات
تجزیه خوشه‌ای
تجزیه علیت
عنصر کم‌مصرف

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۶/۰۱

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۳
۱۷(۴): ۷۲۱-۷۳۷

چکیده

کمبود روی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث کاهش تولید غلات در اکثر کشورهای جهان از جمله ایران می‌شود. این تحقیق با هدف ارزیابی تنوع ۹۵ لاین خالص ذرت، با استفاده از صفات مورفولوژیکی و عملکرد، تحت شرایط بهینه (نرمال) و تنش کمبود روی، در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، در قالب طرح آلفا لاتیس در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زابل (سیستان و بلوچستان) اجرا شد. نتایج نشان داد بین لاین‌های موردمطالعه از نظر تمامی صفات مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌دار وجود دارد. بر اساس تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیّت تحت شرایط بهینه و کمبود روی، صفات تعداد دانه در بلال و وزن صد دانه صفات مهم تأثیرگذار بر عملکرد اقتصادی تعیین شدند. در تجزیه خوشه‌ای، لاین‌های موردنظر ازلحاظ صفات موردمطالعه در شرایط کمبود روی و بهینه به ترتیب در ۵ و ۴ خوشه طبقه‌بندی شدند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در شرایط کمبود روی ۱۱ لاین (Ma001, Ma023, Ma039, Ma043, Ma044, Ma057, Ma062, Ma065, Ma100, Ma112, Ma117) در خوشه اول جزو ژنوتیپ‌های حساس شناسایی شدند. همچنین در این شرایط تعداد ۳۰ لاین (Ma004, Ma006, Ma015, Ma017, Ma018, Ma019, Ma020, Ma021, Ma027, Ma030, Ma031, Ma032, Ma035, Ma038, Ma049, Ma055, Ma064, Ma072, Ma075, Ma096, Ma098, Ma104, Ma105, Ma107, Ma108, Ma111, Ma114, Ma123, G703, Simon) موجود در خوشه چهارم جزو ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند که در بیشتر صفات به‌ویژه عملکرد دارای بیشترین مقدار بودند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تأییدکننده نتایج تجزیه خوشه‌ای بود؛ بنابراین بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین خوشه‌ها تحت شرایط کمبود روی و نمودار بای‌پلات به‌دست‌آمده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، می‌توان والدین مناسب را انتخاب و به‌واسطه تلاقی آن‌ها با توجه به پدیده‌های ژنتیکی همانند هتروزیس و تفکیک متجاوز، به هیبریدهای ذرت متحمل به تنش کمبود روی و نیز دارای ویژگی‌های مطلوب زراعی دست یافت.

مقدمه

ذرت با نام علمی (*Zea mays* L.) با تولید سالانه بیش از یک میلیارد تن در جهان، اولین غله‌ای است که جایگاه مهمی را در اقتصاد دنیا به‌عنوان غذا، علوفه و کاربرد در صنعت به خود اختصاص داده است (FAO, 2018). ذرت گیاهی سریع‌الرشد بوده و لذا نیازمند مواد غذایی زیادی است که این خود بر لزوم در دسترس بودن مواد غذایی مختلف ازجمله عناصر ریزمغذی در دوره رشد و نمو آن تأکید دارد (Xiao et al., 2017). ازجمله عناصر ریزمغذی ضروری برای گیاهان، عنصر روی

* نگارندگان پاسخگو: نفیسه مهدی‌نژاد. پست الکترونیک: nmahdinezhad@uoz.ac.ir، رضا درویش‌زاده. پست الکترونیک: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

است. حضور این عنصر جهت ساخت اکسین از تریپتوفان از مسیر تریپتامین ضروری است (Mengel and Kirby, 1987). یکی از وظایف مهم روی در گیاهان مشارکت در ساخت پروتئین است، بنابراین کمبود روی موجب کاهش مقدار پروتئین و افزایش مقدار آمینواسیدهای آزاد و آمیدها می‌شود (Brown et al., 1993). ازجمله دلایل اهمیت عنصر روی در گیاهان می‌توان به تولید هورمون اکسین (IAA)، سنتز آنزیم‌های مسئول تولید نشاسته، افزایش فتوسنتز خالص (با افزایش فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز که باعث افزایش کارایی فتوسنتز می‌شود)، سوخت‌وساز نیتروژن (فعال‌سازی آنزیم رداکتاز)، افزایش فعالیت آنزیم‌های انتقال‌دهنده فسفات (هگزوکیناز)، تولید تریپتوفان (پیش ماده بیوسنتز ایندول استیک اسید) اشاره نمود (Brown et al., 1993; Alloway, 2004; Marschner, 1995). در حضور ایندول استیک اسید، کلروفیل بیشتری ساخته می‌شود و پیری به تأخیر افتاده و درنهایت میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد. کمبود روی یکی از مشکلات جهانی در تولید محصولات زراعی ازجمله غلات است. ژنوتیپ گیاه اثر عمده‌ای در جذب روی از خاک و استفاده از روی در داخل گیاه دارد (Sasaki et al., 2018). تنوع ژنتیکی برای محتوای روی به سازوکارهای درونی گیاه در جذب روی مرتبط است؛ برخی از ژنوتیپ‌ها از سازوکارهایی برای جذب روی در شرایط دسترسی پایین آن در خاک برخوردارند. ازجمله‌ی این سازوکارها می‌توان به افزایش سطح ریشه، ترشح موادی از قبیل فیتوسیدروها، کاهش pH در ریزوسفر و جابه‌جایی و کارایی بهتر در استفاده از روی در داخل گیاه اشاره نمود (Hajiboland et al., 2001; Sasaki et al., 2018; Mager et al., 2018). فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی که در ریزوسفر اتفاق می‌افتند، نه‌فقط تعیین‌کننده تحرک و جذب عناصر غذایی خاک می‌باشند، بلکه کارایی مصرف عناصر غذایی را نیز کنترل می‌کنند. گیاهان زراعی ازجمله غلات تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی در خصوص غلظت مواد معدنی دریافتی مانند روی نشان می‌دهند (Ghodsizad et al., 2013).

تعیین میزان تنوع ژنتیکی و نحوه توارث ویژگی‌های موجود در توده‌های گیاهی، گام اساسی و مهم در انتخاب والدین برای برنامه‌های بهنژادی در نسل‌های بعدی و مدیریت منابع ژنتیکی است (Chandra et al., 2000; Eftekhari et al., 2010). تنوع ژنتیکی نشان‌دهنده‌ی گوناگونی قابل وراثت در بین افراد درون جامعه بوده و به‌صورت تظاهر متفاوت صفت در جمعیت حاصل از چندین ژنوتیپ بیان می‌شود. مطالعه‌ی تنوع فرآیندی است که تفاوت گونه‌ها، جمعیت‌ها و یا افراد را با استفاده از روش‌ها و مدل‌های آماری خاص بر اساس صفات مورفولوژیک، اطلاعات شجره‌ای یا خصوصیات مولکولی افراد بیان می‌کند (Govindaraj et al., 2015). در چنین مطالعاتی از تجزیه‌وتحلیل‌های چند متغیره از قبیل تجزیه خوشه‌ای (Manly, 1986) و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (Kordi et al., 2016) به‌منظور بررسی و ارزیابی تنوع ژنتیکی استفاده می‌شود. همچنین به‌منظور تعیین صفات مؤثر بر عملکرد می‌توان از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده نمود (Kordi et al., 2016). تجزیه ضرایب مسیر چگونگی تأثیر این صفات را بررسی می‌کند. روش‌های آماری ذکرشده اساس کار بسیاری از محققین برای بررسی تنوع ژنتیکی گیاهان است (Arzhang et al., 2022; Ahangar et al., 2014; Babajanpour et al., 2009). صفات مورفولوژیک به‌طور وسیعی برای تعیین میزان تنوع در گیاهان مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرند. درواقع تنوع مورفولوژیکی مقدمه‌ای برای مطالعات مربوط به تنوع ژنتیکی است. صفات مورفولوژیک جزو اولین نشانگرهایی هستند که در دسته‌بندی توده‌ها و ارقام گیاهی موردتوجه قرارگرفته‌اند (Farsi and Zolali, 2011). بررسی هم‌زمان تعداد زیادی صفت مورفولوژیک و دانستن روابط بین آن‌ها به‌ویژه در محیط‌های شبیه‌سازی‌شده تنش، بهنژادگران را در گزینش صفات مطلوب و ژنوتیپ‌های متحمل به تنش یاری می‌نماید. لذا، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تنوع ژنوتیپ‌های ذرت با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره بر اساس صفات مورفولوژیک و در شرایط تنش کمبود روی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زابل (سیستان و بلوچستان) و با استفاده از ۹۵ لاین خالص و ژنوتیپ ذرت طی ۲ سال زراعی متوالی (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰)، در دو شرایط بهینه (استفاده از کود سولفات روی) و کمبود روی (عدم استفاده کود) و در قالب طرح آلفا لاتیس در دو تکرار انجام شد. لاین‌های ذرت تحت مطالعه از دانشگاه رازی کرمانشاه، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در قالب طرح تحقیقاتی شماره T.T/۱۰۱/۹۴ مصوب پژوهشکده

زیست‌فناوری دانشگاه ارومیه تهیه گردیدند. قبل از اقدام به کاشت، نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از ۵ نقطه زمین تهیه و نمونه خاک مرکب حاصل از این نقاط مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۱). از اول مردادماه هر سال (بر اساس تقویم زراعی منطقه)، ردیف‌های کاشت به فواصل ۷۵ سانتی‌متر توسط فاروئر ایجاد و کشت به‌صورت دستی و بر روی هر پشته با فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر انجام شد. با توجه به اقلیم منطقه زابل (گرم و خشک)، جهت استقرار مناسب بوته‌ها، آبیاری اول و دوم با فاصله ۳ روز انجام گرفت. ادامه روند آبیاری بر اساس شرایط آب‌وهوایی منطقه در مراحل رشد گیاه انجام گرفت. بر اساس نتایج حاصل از آزمایش خاک، مقدار عنصر روی در حد کم بود (کمبود روی) و مصرف کود روی در این تحقیق به‌منظور رفع کمبود روی (ایجاد محیط بهینه) صورت گرفت. با توجه به حساس بودن گیاه ذرت نسبت به کمبود روی و اثرات مخرب روی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی این گیاه، برای ایجاد شرایط بهینه در آزمایش (استفاده از کود سولفات روی) از روش تقسیم‌بندی هانوی (Hanway, 1971) استفاده شد. بدین‌صورت که پیش از آغاز مرحله زایشی در مرحله ۴، ۶ و ۱۰ برگی (قبل گلدهی)، اعمال تیمار عنصر روی به‌صورت کود سولفات روی (۳۵ کیلوگرم در هکتار) در ساعات اولیه روز همراه با آب آبیاری به زمین انجام گرفت. همچنین بر اساس نیاز تغذیه‌ای گیاه ذرت و نتایج آزمایش خاک، کود اوره در مرحله شش برگی به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار، در مرحله ارتفاع نیم‌متری به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و در مرحله گلدهی نیز به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. همچنین کود سولوپتاس به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله زایشی استفاده گردید.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1. Physical and chemical characteristics of farm soil

Depth	EC	pH	TNV	Total Nitrogen	Availabe P	Availabe K	OC	Clay	Sand	Silt	Soil texture	Zn
cm	dS m^{-1}		----------%----------		--------ppm--------		----------%----------					ppm
0-30	1.85	8.03	20.4	0.05	26	220	0.54	18	42	40	Loam	0.67

Depth: عمق؛ OC: کربن آلی؛ K: پتاسیم قابل دسترس؛ P: فسفر قابل دسترس؛ TNV: درصد مواد خنثی شونده با آهک؛ pH: اسیدیته خاک؛ EC: هدایت الکتریکی؛ dS m^{-1}: دسی‌زیمنس بر متر؛ Clay: رس؛ Sand: شن؛ Silt: سیلت؛ Soil texture: بافت خاک؛ Zn: روی؛ Total Nitrogen: ازت کل.
OC: Organic carbon; K: Potassium; P: Phosphorus; TNV: Total neutralizing value; pH: Potential of hydrogen; EC: Electrical conductivity; dS m^{-1}: Decisiemens per metre; Zn: Zinc.

برای هر لاین در هر یک از محیط‌های آزمایشی در هر تکرار تعداد پنج بوته تصادفی انتخاب و صفات موردنظر اندازه‌گیری شدند. پس از رسیدگی فیزیولوژیک، بلال‌ها از بوته‌ها جداشده و صفات مربوط به بلال اندازه‌گیری شدند. در این پژوهش تعداد ۲۹ صفت فنولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد و اجزای عملکرد (جدول ۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از آزمون نرمال بودن توزیع خطاها، تجزیه واریانس مرکب صفات موردبررسی در محیط بهینه و کمبود روی در دو سال زراعی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. به‌منظور تعیین صفاتی که بیشترین تأثیر را بر عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه) دارند و تعیین مشارکت نسبی هر یک از این صفات، رگرسیون گام‌به‌گام بر اساس ضرایب همبستگی پیرسون به ترتیب با استفاده از بسته‌های «olsrr» و «corrplot» در نرم‌افزار R انجام گرفت (Sasaki, 2023). در برازش رگرسیون، عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل و تأثیرگذار بر آن در نظر گرفته شده و صفات به‌صورت مرحله‌به‌مرحله[1] وارد مدل شدند. همچنین به‌منظور تفسیر دقیق‌تر نتایج حاصل از همبستگی و رگرسیون گام‌به‌گام، تجزیه علیت برای صفات واردشده در مدل نهایی رگرسیون در نرم‌افزار PATH2 انجام گرفت. خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به روش وارد (Ward's method) بر روی داده‌های استانداردشده و نیز تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از بسته‌های cluster و factoextra (Maechler et al., 2021; Arzhang et al., 2022) به همراه بسته‌های زیرمجموعه «Factoshiny, missMDA, FactoInvestigate» در نرم‌افزار R و در محیط RStudio 4.0.5 انجام شد (Sasaki, 2023).

[1]. Step by step

جدول ۲. اسامی صفات اندازه‌گیری شده در لاین‌های ذرت تحت شرایط بهینه و کمبود روی

Table 2. Names of measured traits in maize lines under optimum and zinc deficiency conditions

ردیف Row	صفت Trait	واحد اندازه‌گیری Unit	Abbreviation	صفت Trait
1	تعداد روز تا جوانه‌زنی	روز/Day	DTS	Days to seedling
2	تعداد روز تا تاسل دهی	روز/Day	DTT	Days to Tasseling
3	تعداد روز تا ظهور گرده	روز/Day	DTA	Days to anthesis
4	تعداد روز تا بلال دهی	روز/Day	DTE	Days to earing
5	مدت گرده‌افشانی	روز/Day	ASI	Anthesis silking interval
6	طول برگ	سانتی‌متر/Centimeter	LL	leaf length
7	عرض برگ	سانتی‌متر/Centimeter	LW	leaf width
8	تعداد برگ بالای بلال	عدد/Number	EULN	Ear-up leaves number
9	تعداد کل برگ	عدد/Number	TL	Total leaves
10	ارتفاع بلال اصلی از زمین	سانتی‌متر/Centimeter	EH	Ear height
11	ارتفاع بوته	سانتی‌متر/Centimeter	PH	Plant height
12	طول تاسل	سانتی‌متر/Centimeter	TAL	Tassel length
13	قطر ساقه	سانتی‌متر/Centimeter	SD	Stem diameter
14	طول پدانکل	سانتی‌متر/Centimeter	PL	Peduncle length
15	طول بلال	سانتی‌متر/Centimeter	EL	Ear length
16	تعداد ردیف دانه در بلال	عدد/Number	NRC	Number of rows along cob
17	تعداد دانه در ردیف	عدد/Number	NKR	Number of Kernel per Row
18	قطر بلال	سانتی‌متر/Centimeter	ED	Ear diameter
19	عرض بلال	سانتی‌متر/Centimeter	EW	Ear width
20	عمق دانه	سانتی‌متر/Centimeter	GD	Grain depth
21	قطر چوب‌بلال	سانتی‌متر/Centimeter	CD	Cob diameter
22	وزن پنج بلال	گرم/Grams	FEW	Five ears weight
23	وزن چوب پنج بلال	گرم/Grams	FCW	Five cob weight
24	وزن دانه در بلال (عملکرد اقتصادی)	گرم/Grams	EY	Economic yield
25	وزن صد دانه	گرم/Grams	HGW	100-grain weight
26	تعداد دانه در بلال	عدد/Number	NKE	Number of kernel per ear
27	عملکرد در واحد سطح	گرم/Grams	YAU	Yield per unit area
28	عملکرد بیولوژیک	گرم/Grams	BY	Biological yield
29	شاخص برداشت	درصد/Percent	HI	Harvest index

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

پس از انجام آزمون بارتلت و تائید یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها در دو شرایط بهینه و کمبود روی با فرض تصادفی بودن عامل سال و ثابت بودن عامل ژنوتیپ انجام شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب صفات موردبررسی در دو شرایط بهینه و کمبود روی نشان داد که بین لاین‌ها ازنظر تمامی صفات اختلاف آماری معنی‌دار ($P < 0.001$) وجود دارد (به دلیل حجم بالای نتایج حاصله، بخشی از جداول تجزیه واریانس در هر محیط در فایل جداول تکمیلی ضمیمه ارائه شده است). برهمکنش ژنوتیپ در سال در اکثر صفات (به‌جز صفت تعداد روز تا جوانه‌زنی) به‌ویژه در محیط کمبود روی ازلحاظ آماری معنی‌دار بود که نشان‌دهنده رفتار متفاوت ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات

موردبررسی در دو سال زراعی است. کم‌ترین ضریب تغییرات در شرایط کمبود روی در صفت تعداد روز تا ظهور گرده (۲/۷) و در شرایط بهینه مربوط در صفت عرض بلال (۶/۱) مشاهده گردید (جدول تکمیلی ۱). ضریب تغییرات بالا برای عملکرد در واحد سطح در شرایط کمبود روی و بهینه (به ترتیب ۳۵/۳ و ۴۰/۵)، می‌تواند ناشی از پلی‌ژنیک بودن این صفت و تأثیر تغییرات محیطی باشد. در رابطه با صفات کمی (پلی‌ژنیک) در تعدادی از مطالعات ضریب تغییرات بزرگ‌تر از ۳۰ مشاهده‌شده است (Morsali Aghajari et al., 2019). در مطالعه‌ای که به‌منظور گروه‌بندی ۱۰۰ لاین اینبرد ذرت در شرایط گلخانه انجام گرفت، نتایج نشان داد که بین لاین‌ها ازنظر تمامی صفات موردمطالعه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (Ghaffari Azar et al., 2019). در تحقیق دیگری که بر روی ۶۴ رقم گندم بهاره در شرایط بهینه و تنش کمبود عنصر روی صورت گرفت، نتایج نشان داد که تحت شرایط بهینه و کمبود روی بین ارقام موردبررسی ازنظر تمامی صفات فنولوژیکی (به‌جز تعداد روز تا گرده‌افشانی)، عملکرد و اجزای عملکرد تفاوت آماری معنی‌دار وجود دارد (Valipour et al., 2023). کمبود روی به‌طور معنی‌داری عملکرد بذر غلات به‌ویژه گندم را کاهش می‌دهد (Erenoglu et al., 2002). این عنصر با اختلال و دخالت در توانایی دانه گرده در لقاح، تقسیم سلولی و تولید بیوماس به‌طور مستقیم در افزایش عملکرد دانه مؤثر است (Ebrahimian and Bybordi, 2011). در تحقیق انجام‌شده در گندم گزارش شده است در شرایط کمبود روی علاوه بر کاهش کیفیت دانه، عملکرد دانه نیز کاهش یافت (Haydon and Cobbett, 2007).

رگرسیون گام‌به‌گام

به‌منظور تعیین صفات تأثیرگذار بر عملکرد اقتصادی (وزن دانه در بلال) و حذف صفات غیر مؤثر یا کم اثر در مدل رگرسیونی، پس از بررسی فرضیات تجزیه رگرسیون چندگانه شامل مستقل بودن خطاهای پیش‌بینی و بررسی عدم وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل، از رگرسیون گام‌به‌گام[1] استفاده شد (جدول ۳).

در هر دو محیط کمبود روی و بهینه عملکرد اقتصادی به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. در شرایط کمبود روی به دلیل وجود هم‌خطی بین صفات تعداد روز تا بلال‌دهی، تعداد روز تا ظهور گرده و تعداد روز تا جوانه‌زنی، تجزیه رگرسیون با هدف حذف هم‌خطی انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون در شرایط کمبود روی (جدول ۳)، تعداد ۹ صفت، به‌عنوان صفات مؤثر بر عملکرد دانه وارد مدل گردیدند. صفت تعداد دانه در بلال با توجیه ۷۸/۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه، اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد. همبستگی بالا و معنی‌دار این صفت (۰/۸۸۹) با عملکرد دانه بیانگر تأثیر زیاد این صفت بر عملکرد است. در گام دوم صفت وزن صد دانه با توجیه ۱۸/۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه وارد مدل شد، این صفت نیز همبستگی بالا و معنی‌داری (۰/۵۶۹) با عملکرد نشان داد. در ادامه صفات ارتفاع بلال اصلی از زمین، تعداد روز تا بلال‌دهی، طول برگ، تعداد برگ بالای بلال، قطر ساقه، عرض برگ و تعداد ردیف دانه در گام‌های سوم تا نهم وارد مدل رگرسیونی شدند که سهم هرکدام از آن‌ها در توجیه تغییرات عملکرد کمتر از یک درصد بود. درمجموع ۹۷/۸ درصد از تغییرات عملکرد دانه در شرایط کمبود روی توسط ۹ صفت مذکور توجیه شد.

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون در شرایط بهینه (جدول ۴)، صفات تعداد دانه در بلال و وزن صد دانه به ترتیب با توجیه ۸۳ و ۱۴/۹ درصد، بیشترین درصد توجیه تغییرات عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. همچنین این دو صفت بیشترین میزان همبستگی (به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۶۲) را با عملکرد دانه داشتند، این نتایج با نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون در شرایط کمبود روی مطابقت داشت. در ادامه در گام‌های سوم تا ششم صفات طول بلال، قطر ساقه، طول برگ، تعداد ردیف دانه هر یک با توجیه کمتر از یک درصد تغییرات عملکرد وارد مدل رگرسیونی شدند که درمجموع ۹۸/۱ درصد از تغییرات عملکرد دانه توسط ۶ صفت مذکور در شرایط بهینه توجیه شد.

در آزمایشی بر روی ۱۰۰ لاین اینبرد ذرت که به‌منظور گروه‌بندی لاین‌ها بر اساس صفات آگرومورفولوژیک در راستای تولید بذر هیبرید صورت گرفت، اولین صفت واردشده به مدل رگرسیونی طول چوب بلال بود که به‌تنهایی ۶۲ درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود و به همراه وزن چوب بلال درمجموع ۶۶/۴ درصد تغییرپذیری‌های عملکرد دانه را توجیه کردند که با نتایج مطالعه حاضر مغایرت داشت (Ghaffari Azar et al., 2019).

1. Stepwise

جدول ۳. تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد دانه (متغیر وابسته) و سایر صفات (متغیرهای مستقل) در لاین‌های ذرت در شرایط کمبود روی

Table 3. Stepwise regression analysis for seed yield (dependent variable) and other traits (independent variables) in maize lines under zinc deficiency conditions

متغیر واردشده به مدل Variable interred into the model	ضریب رگرسیون استانداردشده Std. Beta	ضریب تبیین جزء Partial R-Sqare	ضریب تبیین تصحیح‌شده Adjusted R-Square	همبستگی با عملکرد دانه Correlation coefficient with seed yield	F
تعداد دانه در بلال NKE	0.833	0.7857	0.7857	0.889**	345.58**
وزن ۱۰۰ دانه HGW(g)	0.450	0.1848	0.9705	0.569*	1544.72**
ارتفاع بلال اصلی از زمین EH	-0.079	0.0046	0.9751	0.059	1226.90**
تعداد روز تا بلال دهی DTE	-0.032	0.0008	0.9759	0.1	951.19**
طول برگ LL	0.052	0.0005	0.9764	0.2	777.84**
تعداد برگ بالای بلال EULN	-0.044	0.0011	0.9775	0.23*	682.36**
قطر ساقه SD	0.031	0.0004	0.9779	0.05	594.111**
عرض برگ LW	-0.031	0.0004	0.9783	0.09	530.89**
تعداد ردیف دانه NRC	-0.023	0.0003	0.9786	0.31*	477.69**

Std. Beta: Standardized beta coefficient

NKE, Number of kernel per ear; HGW, 100-grain weight; EH, Ear height; DTE, Days to earing; LL, Leaf length; EULN, Ear-up leaves number; SD, Stem diameter; LW, Leaf width; NRC, Number of rows along cob

جدول ۴. تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد دانه (متغیر وابسته) و سایر صفات (متغیرهای مستقل) در لاین‌های ذرت در شرایط بهینه

Table 4. Stepwise regression analysis for seed yield (dependent variable) and other traits (independent variables) in maize lines under optimum conditions

متغیر واردشده به مدل Variable interred into the model	ضریب رگرسیون استانداردشده Std. Beta	ضریب تبیین جزء Partial R-Square	ضریب تبیین تصحیح‌شده Adjusted R-Square	همبستگی با عملکرد دانه Correlation coefficient with seed yield	F
تعداد دانه در بلال NKE	0.853	0.8304	0.8304	0.91*	455.396**
وزن ۱۰۰ دانه HGW (g)	0.406	0.1486	0.9790	0.62*	2141.154**
طول بلال EL	-0.043	0.0012	0.9802	0.639*	1498.745**
قطر ساقه SD	0.033	0.0006	0.9808	-0.04	1150.603**
طول برگ LL	-0.027	0.0007	0.9815	0.389*	942.979**
تعداد ردیف دانه NRC	-0.024	0.0004	0.9819	0.4*	796.003**

Std. Beta: Standardized beta coefficient

NKE, Number of kernel per ear; HGW, 100-grain weight; EL, Ear length; SD, Stem diameter; LL, Leaf length; NRC, Number of rows along cob

تجزیه ضرایب مسیر

با استفاده از تحلیل مسیر[1] تجزیه همبستگی صفات مؤثر بر عملکرد دانه به اثرات مستقیم و غیرمستقیم از طریق سایر صفات انجام می‌گیرد. اگر همبستگی بین عملکرد دانه و یک صفت به علت اثر مستقیم آن صفت باشد، این گویای یک رابطه واقعی بین آن‌ها است که می‌توان صفت موردنظر را به‌منظور اصلاح عملکرد انتخاب کرد، اما اگر این همبستگی به علت اثر غیرمستقیم صفت از طریق صفات دیگر باشد، در این حالت گزینش باید بر روی صفتی انجام گیرد که سبب اثر غیرمستقیم شده است (Nasri et al., 2013)؛ بنابراین به‌منظور درک بهتر روابط علّی و معلولی بین صفات واردشده به مدل رگرسیون و عملکرد دانه و نیز تفسیر دقیق‌تر نتایج و آگاهی از اثرات مستقیم و غیرمستقیم و نحوه تأثیر این صفات در هر یک از شرایط کمبود روی و بهینه، از روش تجزیه ضرایب مسیر در این پژوهش استفاده شد. برای این منظور عملکرد دانه به‌عنوان ویژگی وابسته و سایر صفات واردشده به مدل رگرسیون به‌عنوان ویژگی مستقل انتخاب شدند. نتایج نشان داد که در شرایط کمبود روی (جدول ۵)، صفات تعداد دانه در بلال (۰/۸۲۸) و وزن صد دانه (۰/۴۴۶) دارای بیشترین اثر مستقیم مثبت بر عملکرد بودند. صفات ارتفاع بلال اصلی از زمین (اثر مستقیم منفی ۰/۰۸۰-)، تعداد روز تا بلال‌دهی (اثر مستقیم منفی ۰/۰۲۳-)، طول برگ (اثر مستقیم مثبت ۰/۰۶۱)، تعداد برگ بالای بلال (اثر مستقیم منفی ۰/۰۴۴-)، قطر ساقه (اثر مستقیم مثبت ۰/۰۲۶)، عرض برگ (اثر مستقیم منفی ۰/۰۳۳-) و تعداد ردیف دانه (اثر مستقیم منفی ۰/۰۱۵-) دارای اثرات مستقیم نسبتاً کمی بر عملکرد بودند.

اگرچه صفات تعداد ردیف دانه و تعداد برگ بالای بلال ضرایب همبستگی مثبتی با عملکرد دانه (به ترتیب ۰/۳۱، ۰/۲۳) نشان دادند، اما این صفات دارای اثرات مستقیم منفی بوده که این خود بیان‌کننده تأثیر آثار غیرمستقیم سایر صفات از طریق این صفت بر عملکرد دانه است، به‌طوری‌که صفت تعداد ردیف دانه با دارا بودن اثر مستقیم کوچک منفی ۰/۰۱۵- بر عملکرد دانه، به‌طور غیرمستقیم از طریق صفات تعداد دانه در بلال (۰/۲۸۱)، تعداد برگ بالای بلال (۰/۱۷۳) و تعداد روز تا بلال‌دهی (۰/۱۱۵) بر عملکرد اقتصادی اثر می‌گذارد.

نتایج تجزیه مسیر در شرایط بهینه (جدول ۶) نشان داد که بیشترین اثر مستقیم بر افزایش عملکرد دانه به ترتیب به صفات تعداد دانه در بلال (۰/۸۴۴) و وزن صد دانه (۰/۳۹۹) مربوط بود. صفات طول بلال، تعداد ردیف دانه و طول برگ اگرچه دارای ضرایب همبستگی بالایی با عملکرد دانه (به ترتیب ۰/۶۳۹، ۰/۴، ۰/۳۸۹) بودند، اما دارای اثرات مستقیم نسبتاً کمی (به ترتیب ۰/۰۴۳-، ۰/۰۱۶-، ۰/۰۱۸-) بر عملکرد بوده و بخش عمده این همبستگی مربوط به اثرات غیرمستقیم این صفات بر عملکرد بود. با توجه به نتایج اثرات باقیمانده در شرایط کمبود روی ۰/۱۳۶ و در شرایط بهینه ۰/۱۵۸ می‌توان بیان کرد که صفات موردبررسی در تجزیه مسیر تا حد زیادی قادر به توجیه عملکرد دانه بوده‌اند. به‌طورکلی نتایج تجزیه مسیر نشان داد که در شرایط کمبود روی و بهینه سهم بزرگی از همبستگی بین صفات تعداد دانه در بلال و وزن صد دانه با عملکرد دانه مربوط به اثرات مستقیم آن‌ها می‌باشد؛ بنابراین برای افزایش عملکرد دانه در شرایط کمبود روی می‌توان از طریق گزینش مستقیم این صفات اقدام نمود.

نتایج تحقیق انجام‌شده بر روی ژنوتیپ‌های ذرت در شرایط تنش شوری نشان داد که صفات تعداد دانه در بلال و وزن صد دانه بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه ذرت دارند (Chaudhary et al., 2017) که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد. در تحقیق ارژنگ و همکاران (Arzhang et al., 2022) بر روی لاین‌های ذرت نشان داده شد که در شرایط نرمال صفات تعداد دانه در ردیف، وزن صد دانه، عرض دانه و تعداد کل برگ و در شرایط تنش شوری صفات تعداد دانه در ردیف، عمق دانه، وزن چوب بلال و قطر بلال مهم‌ترین صفات تأثیرگذار بر عملکرد دانه بودند. همچنین در پژوهش‌های دیگر انجام‌شده بر روی ذرت نشان داده شده است که صفات تعداد دانه در ردیف و طول دانه (Nemati et al., 2009) و صفات ارتفاع بوته و وزن صد دانه (Yahaya et al., 2021) جزو صفات دارای بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد دانه ذرت بودند.

[1]. Path analysis

جدول ۵. تجزیه ضرایب مسیر بر اساس ضرایب همبستگی صفات واردشده به مدل رگرسیون برای عملکرد دانه ذرت در شرایط کمبود روی

Table 5. Path analysis based on correlation coefficient of traits intered to regression model for seed yield in maize lines under zinc deficiency conditions

	صفت Trait	اثر مستقیم Direct Effect	Indirect effect through 1	2	3	4	5	6	7	8	9	همبستگی با عملکرد دانه Correlation coefficient with seed yield
			اثر غیرمستقیم از طریق صفت									
1	تعداد دانه در بلال NKE	0.828**		0.075	-0.005	-0.004	0.01	-0.01	-0.001	-0.003	-0.005	0.889**
2	وزن ۱۰۰ دانه HGW (g)	0.446**	0.14		-0.015	-0.001	0.007	-0.009	0.003	-0.005	-0.002	0.569*
3	ارتفاع بلال اصلی از زمین EH (cm)	-0.08ns	0.049	0.08		-0.002	0.022	-0.006	0.005	-0.013	0	0.059
4	تعداد روز تا بلال دهی DTE	-0.023ns	0.115	0.013	-0.006		0	0	0.001	-0.004	-0.001	0.1
5	طول برگ LL (cm)	0.061ns	0.14	0.053	-0.03	-0.001		-0.019	0.004	-0.014	-0.001	0.2
6	تعداد برگ بالای بلال EULN	-0.044ns	0.173	0.084	-0.011	0	0.026		0.002	-0.003	-0.003	0.23*
7	قطر ساقه SD (cm)	0.026ns	-0.017	0.062	-0.018	-0.002	0.011	-0.005		-0.011	0	0.05
8	عرض برگ LW (cm)	-0.033ns	0.066	0.058	-0.032	-0.003	0.025	-0.004	0.008		0	0.09
9	تعداد ردیف دانه NRC	-0.015ns	0.281	0.044	0.003	-0.002	0.001	-0.007	-0.002	0.001		0.31*

اثرات باقیمانده (Residual effects) = 0.136

*، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

NKE, Number of kernel per ear; HGW, 100-grain weight; EH, Ear height; DTE, Days to earing; LL, Leaf length; EULN, Ear-up leaves number; SD, Stem diameter; LW, Leaf width; NRC, Number of rows along cob

جدول ۶. تجزیه ضرایب مسیر بر اساس ضرایب همبستگی صفات واردشده به مدل رگرسیون عملکرد دانه در ذرت در شرایط بهینه

Table 6. Path analysis based on correlation coefficient of traits intered to regression model for seed yield in maize lines under optimum conditions

	صفت Trait	اثر مستقیم Direct Effect	Indirect effect through 1	2	3	4	5	6	همبستگی با عملکرد Correlation coefficient with yield
			اثر غیرمستقیم از طریق صفت						
1	تعداد دانه در بلال NKE	0.844**		-0.111	-0.03	-0.003	-0.007	-0.008	0.91*
2	وزن ۱۰۰ دانه HGW (gr)	0.399**	0.236		-0.012	0	-0.006	-0.002	0.62*
3	طول بلال EL (cm)	-0.043ns	0.591	0.103		0.001	-0.008	-0.007	0.639*
4	قطر ساقه SD (cm)	0.029ns	-0.076	0.011	-0.003		-0.004	-0.001	-0.04
5	طول برگ LL (cm)	-0.018ns	0.312	0.111	-0.018	0.005		-0.005	0.389*
6	تعداد ردیف دانه NRC	-0.016ns	0.405	0.031	-0.019	0.001	-0.005		0.4*

اثرات باقیمانده (Residual effects) = 0.158

*، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

NKE, Number of kernel per ear; HGW, 100-grain weight; EL, Ear length; SD, Stem diameter; LL, Leaf length; NRC, Number of rows along cob

تجزیه خوشه‌ای

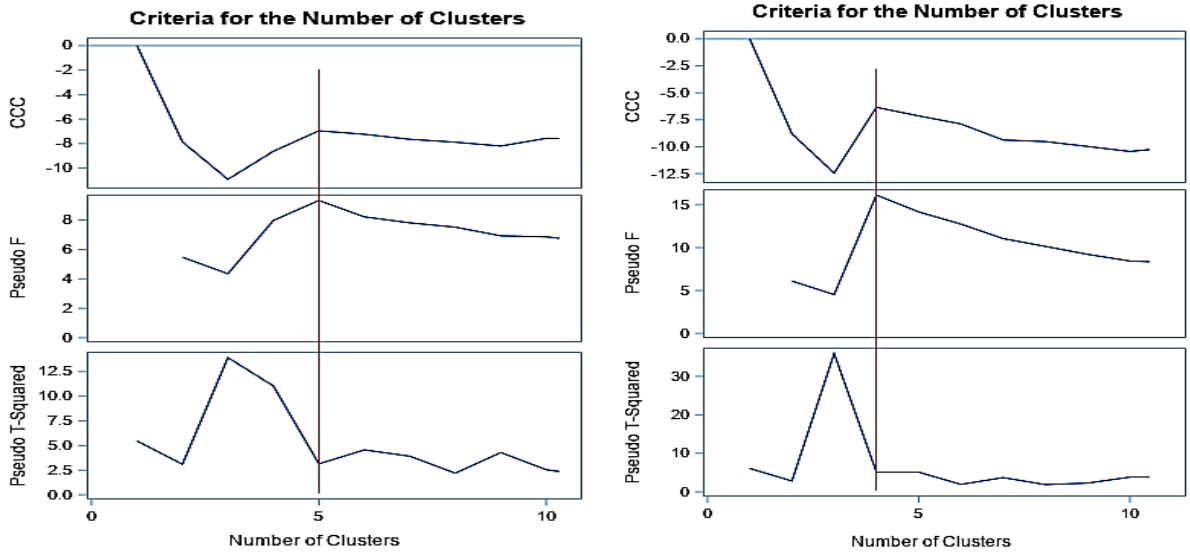
گروه‌بندی لاین‌های موردبررسی، با توجه به صفات اندازه‌گیری شده با روش تجزیه خوشه‌ای انجام شد. جهت تعیین تعداد واقعی خوشه‌ها از آزمون‌های T^2 کاذب هتلینگ،F کاذب و معیار توان سوم گروه‌ها[1] استفاده شد. تجزیه خوشه‌ای به روش وارد[2] بر روی میانگین متغیرهای استانداردشده انجام گرفت. خوشه‌بندی سلسله مراتبی ۹۵ لاین خالص ذرت در شرایط کمبود روی بر پایه تعداد بهینه پنج خوشه که دارای بیشترین مقادیر F کاذب و معیار توان سوم خوشه‌ها و نیز یک تغییر ناگهانی برای T^2 کاذب هتلینگ بودند و در شرایط بهینه بر پایه تعداد بهینه چهار خوشه، انجام شد (جدول ۷ و شکل ۱).

جدول ۷. مقادیر T^2 کاذب هتلینگ، F و معیار توان سوم خوشه‌ها، به‌منظور تعیین تعداد خوشه مطلوب در شرایط بهینه و کمبود روی

Table 7. Pseudo T^2, F and Cubic Clustering Criterion values, used to determine optimum number of clusters under optimum and zinc deficiency conditions

Environment	محیط	تعداد کلاستر Number of clusters	T^2 کاذب هوتلینگ Pseudo T^2	F	معیار توان سوم گروه‌ها Cubic Clustering Criterion
ZDC	کمبود روی	5	3.1	9.3	-7.0
OC	بهینه	4	5.1	16.1	-6.3

ZDC: Zinc deficiency conditions; OC: Optimum conditions.



(a) **(b)**

شکل ۱. تعیین تعداد خوشه مطلوب بر اساس مقادیر T^2 کاذب هتلینگ، F کاذب و معیار توان سوم خوشه‌ها در (a) شرایط کمبود روی و (b) شرایط بهینه

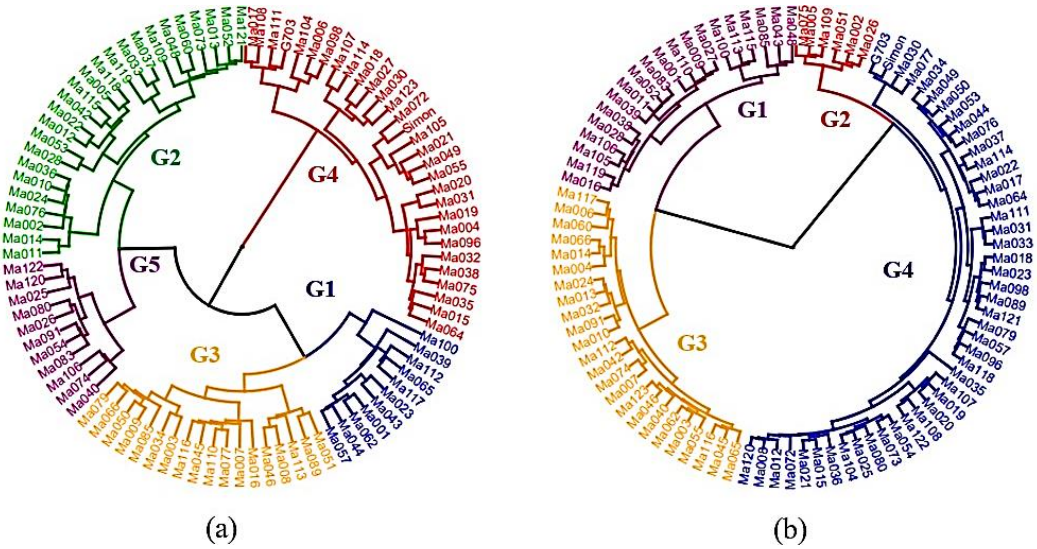
Fig. 1. Determining optimum number of clusters based on Pseudo T^2, F and Cubic Clustering Criterion values, under (a) Zinc deficiency conditions, and (b) Optimum conditions

نمودار دندروگرام پنج خوشه به‌دست‌آمده در شرایط کمبود روی در شکل ۲a نمایش داده شده است. مقایسات میانگین بین خوشه‌ها با استفاده از روش دانکن (جداول تکمیلی) در شرایط کمبود روی نشان داد که ازلحاظ کلیه صفات موردبررسی به‌جز صفات طول برگ، عرض برگ، تعداد برگ بالای بلال، قطر ساقه و وزن چوب پنج بلال اختلاف معنی‌دار وجود دارد. تعداد ۱۱ لاین موجود در خوشه اول کمترین میانگین را برای تمامی صفات نشان دادند. تعداد ۲۵ لاین قرارگرفته در خوشه دوم با دارا بودن میانگین بالا برای صفات تعداد روز تا جوانه‌زنی، تعداد روز تا تاسل‌دهی، تعداد روز تا ظهور گرده، تعداد روز تا بلال‌دهی و طول تاسل اختلاف معنی‌داری را با چهار خوشه دیگر نشان دادند. خوشه سوم با تعداد ۱۸ لاین دارای بیشترین میانگین برای صفات ارتفاع بلال اصلی از زمین، طول پدانکل و عمق دانه بود. در خوشه

[1]. Cubic clustering criterion

[2]. Ward's method

چهارم بیشترین تعداد لاین (۳۰) قرار گرفت و برای بیشتر صفات ازجمله تعداد کل برگ، ارتفاع بوته، طول بلال، تعداد دانه در ردیف، قطر بلال، عرض بلال، وزن ۵ بلال، عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه در بلال، عملکرد در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بیشترین میانگین را نسبت به سه خوشه دیگر دارا بود. در خوشه پنجم تعداد ۱۱ لاین قرار گرفت و در صفات مدت گرده‌افشانی، تعداد ردیف دانه در بلال و قطر چوب‌بلال بیشترین میانگین را نشان دادند.



شکل ۲. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای سلسله‌مراتبی لاین‌های ذرت به روش Ward بر مبنای صفات مورد بررسی در (a) شرایط کمبود روی و (b) شرایط بهینه

Fig. 2. Dendrogram resulted from hierarchical cluster analysis of maize lines using Ward's method based on investigated traits under (a) Zinc deficiency conditions, and (b) Optimum conditions

در شرایط بهینه لاین‌های موردتحقیق در چهار گروه طبقه‌بندی شدند (شکل b2). چهار خوشه به‌دست‌آمده ازنظر کلیه صفات موردراندازه‌گیری به‌جز عرض برگ، تعداد برگ بالای بلال و قطر ساقه اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول تکمیلی ۲). در شرایط بهینه، خوشه اول با دارا بودن تعداد ۲۰ لاین برای تمامی صفات به‌جز صفات تعداد روز تا جوانه‌زنی و قطر ساقه کمترین میانگین را نشان دادند. کمترین تعداد لاین (۶ عدد) در خوشه دوم گروه‌بندی شدند. این خوشه در صفات تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، قطر بلال و عمق دانه بیشترین میانگین را نشان داد. در خوشه سوم تعداد ۲۴ لاین قرار گرفتند و برای صفاتی از قبیل تعداد روز تا تاسل‌دهی، تعداد روز تا ظهور گرده، تعداد روز تا بلال‌دهی و مدت گرده‌افشانی (خصوصیات فنولوژی) بیشترین میانگین را نسبت به خوشه‌های دیگر نشان دادند. بیشترین تعداد لاین در خوشه چهارم (۴۵) قرار گرفت و برای اغلب صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد ازجمله طول برگ، عرض برگ، تعداد برگ بالای بلال، تعداد کل برگ، ارتفاع بلال اصلی از زمین، ارتفاع بوته، طول تاسل، طول پدانکل، قطر چوب بلال، وزن پنج بلال، وزن چوب پنج بلال، عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه در بلال، عملکرد در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بیشترین میانگین را نسبت به سایر خوشه‌ها نشان داد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در هر دو شرایط کمبود روی و بهینه، خوشه‌های اول دارای میانگین پایین و خوشه‌های چهارم دارای میانگین بالا برای اکثر صفات بودند. به‌طوری‌که در شرایط کمبود روی تعداد ۱۱ لاین (Ma001, Ma023, Ma039, Ma043, Ma044, Ma057, Ma062, Ma065, Ma100, Ma112, Ma117) در خوشه اول جزو ژنوتیپ‌های حساس شناسایی شدند و دارای میانگین پایین برای بیشتر صفات بودند. در شرایط بهینه تعداد ۲۰ لاین (Ma001, Ma009, Ma011, Ma016, Ma027, Ma028, Ma038, Ma039, Ma043, Ma048, Ma052, Ma083, Ma085, Ma100, Ma105, Ma106, Ma110, Ma113, Ma115, Ma119) در خوشه اول دارای میانگین پایین بوده که در این میان تعداد ۴ لاین (Ma001, Ma039, Ma043, Ma100) آن مشترک برای هر دو محیط می‌باشد که می‌توان این ۴ لاین را جزو ژنوتیپ‌های با نمود یا عملکرد کم در هر دو شرایط محیطی دانست.

در شرایط کمبود روی تعداد ۳۰ لاین (Ma004, Ma006, Ma015, Ma017, Ma018, Ma019, Ma020, Ma021, Ma027, Ma030, Ma031, Ma032, Ma035, Ma038, Ma049, Ma055, Ma064, Ma072, Ma075, Ma096, Ma098, Ma104, Ma105, Ma107, Ma108, Ma111, Ma114, Ma123, G703, Simon) موجود در خوشه چهارم جزو ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند که در بیشتر صفات دارای بیشترین مقدار بودند. در شرایط بهینه نیز تعداد ۴۵ لاین ذرت (Ma008, Ma012, Ma015, Ma017, Ma018, Ma019, Ma020, Ma021, Ma022, Ma023, Ma025, Ma030, Ma031, Ma033, Ma034, Ma035, Ma036, Ma037, Ma044, Ma049, Ma050, Ma053, Ma054, Ma057, Ma064, Ma072, Ma073, Ma076, Ma077, Ma079, Ma080, Ma089, Ma096, Ma098, Ma104, Ma107, Ma108, Ma111, Ma114, Ma118, Ma120, Ma121, Ma122, G703, Simon) در خوشه چهارم قرار گرفتند و در اکثر صفات بیشترین میانگین را دارا بودند که در این میان تعداد ۲۱ لاین مشترک در هر دو محیط شامل لاین‌های Ma015, Ma017, Ma018, Ma019, Ma020, Ma021, Ma030, Ma031, Ma035, Ma049, Ma064, Ma072, Ma096, Ma098, Ma104, Ma107, Ma108, Ma111, Ma114, G703, Simon شناسایی شدند که دارای میانگین بالا در اکثر صفات بودند. این مسئله بیانگر این است که ۳۰ لاین قرارگرفته در خوشه چهارم در شرایط کمبود روی که قادر به تحمل شرایط کمبود روی هستند را می‌توان جزو ژنوتیپ‌های متحمل معرفی نمود. همچنین، ۴۵ لاین موجود در خوشه چهارم در شرایط بهینه (با مصرف کود) که مقادیر بالای میانگین صفات را نشان دادند را می‌توان جهت معرفی، گزینش و تلاقی این لاین‌ها در برنامه‌های بهنژادی و اصلاحی مورداستفاده قرار داد. در مطالعه‌ای که بر روی ۱۸ رقم هیبرید ذرت در شرایط شوری صورت گرفت، نتایج نشان داد که تنوع ژنوتیپی قابل‌توجهی در پاسخ به تنش شوری وجود دارد. همچنین سه خوشه مجزا تشکیل شد به‌نحوی‌که هر خوشه ۶ رقم مختلف را دارا بوده و ارقام موجود در خوشه اول تحمل به تنش شوری بیشتری را نشان دادند. لذا در مطالعه مذکور ارقام ذرت متحمل به شوری برای کشت در خاک‌های شور ساحلی معرفی گردیدند (Huqe et al., 2021).

در تحقیق انجام‌شده بر روی ۶۴ رقم گندم بهاره در شرایط بهینه و کمبود عنصر روی، بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای ارقام نیشابور، گلستان و گهر به‌عنوان ارقام مطلوب و متحمل شناسایی شدند که می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های بهنژادی بهره برد (Valipour et al., 2023).

در پژوهشی که بر روی ۱۲ هیبرید ذرت به‌منظور گروه‌بندی با استفاده از عملکرد و صفات مورفولوژیکی صورت گرفت، نتایج نشان داد که هیبریدهای موردبررسی در دو خوشه قرار گرفتند؛ خوشه اول ازنظر صفات وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف، عمق دانه، طول بلال و ارتفاع بوته و فاصله گرده‌افشانی تا کاکل‌دهی و خوشه دوم نیز ازنظر صفات دانه در ردیف، ارتفاع بلال، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد روز تا گرده‌افشانی، روز تا کاکل‌دهی، قطر بلال و قطر چوب‌بلال دارای میانگین بیشتری بودند (Valizadeh et al., 2014). در مطالعه‌ای دیگر، تعداد ۱۴ هیبرید ذرت با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد، به پنج خوشه تقسیم شدند و خوشه‌های دوم و سوم ازنظر عملکرد دانه و صفات مؤثر بر عملکرد (شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه) از میانگین بالاتری برخوردار بودند (Mohammadi et al., 2013). محققین برای گروه‌بندی ارقام و لاین‌های ذرت، مطالعات زیادی انجام دادند و نتایج کاملاً متنوعی به دست آوردند که این خود نشان‌دهنده اهمیت نوع صفات موردبررسی، نوع و تعداد ارقام و شرایط محیطی موردبررسی است.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، به‌منظور توجیه تغییرات کل داده‌های اولیه، کاهش حجم داده‌ها با استفاده از تعداد محدودی از متغیرهای جدید مستقل که به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند، و نیز برای توصیف تنوع کل و تفسیر بهتر روابط و تعیین سهم صفات در تنوع کل استفاده شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس ضرایب همبستگی صفات بر روی میانگین داده‌های اصلی و در جهت تائید نتایج تجزیه خوشه‌ای و مکمل با آن انجام گرفت و مؤلفه‌های اصلی که دارای مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک بودند، انتخاب شدند. درواقع با کاهش تعداد متغیرها به تعداد کمی از مؤلفه‌های متعامدی که همبستگی با هم ندارند و هر مؤلفه جنبه‌های متفاوتی از داده‌ها را اندازه‌گیری می‌کند، اهمیت نسبی متغیرها در خوشه‌های به‌دست‌آمده آشکار می‌گردد (Jolliffe, 2002). همچنین با نمایش پراکنش افراد در یک فضای هندسی دوبعدی میزان تشابه بین افراد تعیین گردید، بدین‌صورت که تجمع افراد در یک ناحیه از پلات نشان‌دهنده تشابه آن افراد بود. این نوع دسته‌بندی باعث نمایان‌شدن تفاوت‌ها در بین افراد شده و مشاهده گروه‌های واقعی را ممکن

می‌سازد. طبق نتایج در شرایط بهینه هفت مؤلفه و در شرایط تنش کمبود روی هشت مؤلفه مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند که درمجموع به ترتیب ۷۹/۷۷ درصد و ۷۸/۹۹ درصد از واریانس صفات را توجیه کردند (جدول تکمیلی ۳ و ۴).

در هر دو شرایط بهینه و کمبود روی، مؤلفه اول که به ترتیب ۳۹/۸۰۴ درصد و ۲۶/۷۲۴ درصد از واریانس کل را توجیه کرد، دربرگیرنده قسمت عمده تغییرات صفات تعداد روز تا جوانه‌زنی، طول برگ، تعداد برگ بالای بلال اصلی، ارتفاع بلال اصلی از زمین، ارتفاع بوته، طول تاسل، طول بلال، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در ردیف، قطر بلال، عرض بلال، قطر چوب‌بلال، وزن پنج بلال، وزن چوب پنج بلال، وزن دانه در بلال (عملکرد اقتصادی)، تعداد دانه در بلال، عملکرد در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بود. این خود نشان‌دهنده اهمیت ویژه این صفات در توجیه تغییرات و ارتباط نزدیک این صفات با یکدیگر است. مؤلفه دوم، بزرگ‌ترین ضرایب را برای صفات تعداد روز تا ظهور گرده و تعداد روز تا بلال‌دهی تحت هر دو شرایط بهینه و کمبود روی داشت. همچنین ضرایب بالایی برای صفت تعداد روز تا جوانه‌زنی در شرایط کمبود روی و صفات تعداد روز تا تاسل‌دهی و مدت گرده‌افشانی در شرایط بهینه در مؤلفه دوم دیده شد. این مؤلفه در شرایط بهینه و کمبود روی به ترتیب ۱۱/۹۰۲ درصد و ۱۴/۱۷۱ درصد از تغییرات کل را به خود اختصاص داد (جدول تکمیلی ۳ و ۴).

به‌منظور بررسی روابط لاین‌ها و محیط‌ها از نمایش گرافیکی بای‌پلات استفاده شد که در آن پراکنش لاین‌های ذرت بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم و عدم تشابه بین آن‌ها و منطبق بر خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای نمایش داده شده است، همچنین به‌صراحت خوشه‌های به‌دست‌آمده از تجزیه خوشه‌ای را تحت شرایط کمبود روی (شکل a3) و بهینه (شکل b3) از یکدیگر مشخص کرده است. شکل‌های بزرگ‌تر در هر خوشه، مرکز خوشه را نشان می‌دهند. بر این اساس صفاتی که دارای ضرایب بالایی برای مؤلفه اول بودند تحت شرایط تنش روی مقدار بالایی را در لاین‌های موجود در خوشه دوم نشان دادند که توجیه‌کننده مقادیر بالای این صفات در این خوشه، توسط تجزیه خوشه‌ای بود (شکل a2). پراکنش لاین‌های موجود در خوشه اول تحت تنش روی، بسیار گسترده بود به‌طوری‌که تعدادی از آن‌ها دارای مقدار بالایی برای صفات مؤثر در مؤلفه دوم بودند. پراکنش لاین‌ها در نمودار بای‌پلات بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم در شرایط بهینه، همگرایی بالایی با لاین‌های موجود در خوشه اول و سوم نشان دادند و با مقادیر بالای این صفات در این خوشه‌ها که توسط تجزیه خوشه‌ای نشان داده‌شده بود، مطابقت داشت (شکل b3). درصد واریانس توجیه شده مؤلفه اول و دوم در شرایط بهینه به ترتیب ۳۹/۸۰۴ و ۱۱/۹۰۲ بود. پراکنش ژنوتیپ‌ها تحت شرایط کمبود روی نسبت به شرایط بهینه گسترده‌تر بود. در بای‌پلات دو مؤلفه اول به‌منظور دستیابی به لاین‌های متحمل به کمبود روی (Ma004, Ma006, Ma015, Ma017, Ma018, Ma019, Ma020, Ma021, Ma027, Ma030, Ma031, Ma032, Ma035, Ma038, Ma049, Ma055, Ma064, Ma072, Ma075, Ma096, Ma098, Ma104, Ma105, Ma107, Ma108, Ma111, Ma114, Ma123, G703, Simon) می‌توان از مرکز خوشه‌ها و فواصل تقریبی بین آن‌ها استفاده نمود. در این پژوهش نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با تجزیه خوشه‌ای مطابقت داشت.

در مطالعه غفاری آذر و همکاران (Ghaffari Azar et al., 2019) با انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی صفات مورد ارزیابی در ۱۰۰ لاین خالص ذرت، مشاهده شد که دو مؤلفه اول ۵۲ درصد واریانس را به خود اختصاص دادند، به‌طوری‌که صفات ارتفاع بوته، وزن دانه در بوته، وزن چوب‌بلال و قطر ابتدای چوب‌بلال به ترتیب بیشترین نقش در توجیه مؤلفه اول و صفات وزن دانه در بوته، تاریخ ظهور گل نر و تاریخ ظهور بلال اول نیز بیشترین نقش در توجیه مؤلفه دوم را داشتند، این محققین همچنین گزارش کردند که نتایج تجزیه به مؤلفه‌ها مؤید نتایج تجزیه خوشه‌ای بود.

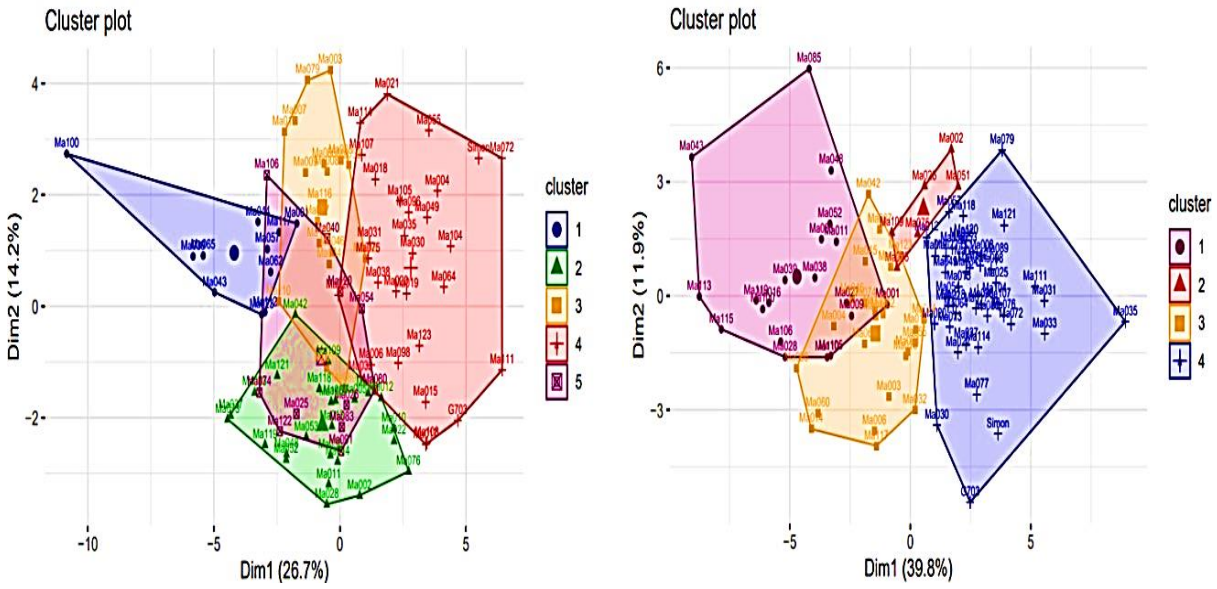
نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شرایط کمبود روی و بهینه بر بیشتر صفات مورداندازه‌گیری، بخصوص عملکرد و اجزای عملکرد ۹۵ لاین ذرت اثر گذاشته که می‌توان بیان کرد تنوع وسیعی مابین لاین‌های ذرت وجود دارد که زمینه را جهت بهره‌برداری از این ژنوتیپ‌های ارزشمند با هدف انتخاب لاین‌های اصلاح‌شده جهت تحمل شرایط کمبود روی فراهم می‌کند. صفات تعداد دانه در بلال و وزن صد دانه در شرایط کمبود روی و بهینه، از اجزای مهم تأثیرگذار بر عملکرد دانه بودند و بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد داشتند و بیشترین توجیه تغییرات عملکرد توسط صفات مذکور ارائه گردید. نظر به اینکه در اغلب مطالعات، عملکرد اقتصادی (وزن دانه در بلال) صفتی است که بسیار

متأثر از محیط است و معمولاً از وراثت‌پذیری پایینی نیز برخوردار است، لذا درصورتی‌که صفات مذکور (صفات تأثیرگذار بر عملکرد دانه) از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار باشند می‌توان به‌منظور گزینش غیرمستقیم برای بهبود عملکرد اقتصادی در ژنوتیپ‌های ذرت استفاده نمود. با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، لاین‌های ذرت موردمطالعه در شرایط کمبود روی و بهینه به ترتیب در ۵ و ۴ خوشه قرار گرفتند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین بین خوشه‌ها در شرایط کمبود روی ۱۱ لاین موجود در خوشه اول به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس و نیز در این شرایط محیطی تعداد ۳۰ لاین موجود در خوشه چهارم به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند که در بیشتر صفات دارای بیشترین مقدار بودند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز تأییدکننده نتایج تجزیه خوشه‌ای بود. بدین ترتیب می‌توان لاین‌های مناسب را به‌عنوان والدین انتخاب نموده و پیشنهاد می‌گردد از تلاقی لاین‌های متحمل در این پژوهش جهت بهره‌مندی از پدیده هتروزیس اقدام و از آن‌ها برای اجرای برنامه‌های بهنژادی با هدف تولید لاین‌های متحمل به شرایط کمبود روی که دارای ویژگی‌های مهم زراعی نیز باشند بهره برد. همچنین می‌توان اعلام کرد با توجه به اینکه بیشتر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور ایران دارای کمبود روی می‌باشد، پیشنهاد می‌شود این آزمایش در شرایط مزرعه تکرار و در صورت حصول نتایج مشابه، از لاین‌های متحمل در تولید ارقام هیبرید متحمل استفاده کرده و کشت هیبریدهای متحمل بعد از تائید و ثبت در نواحی مختلف گسترش یابد. همچنین می‌توان پیشنهاد نمود برای درک بهتر مکانیسم مولکولی جذب روی در لاین‌های مختلف ذرت و طراحی برنامه‌های اصلاحی مؤثر جهت تولید ارقام مناسب، ژنتیک تحمل در لاین‌های متحمل با فناوری‌های نوین از قبیل تحلیل ارتباط در گستره ژنوم (GWAS[1]) و توالی‌یابی آر ان ای (RNA-seq[2]) موردبررسی قرار گیرد.

قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه زابل برای حمایت مالی در انجام این پروژه با شماره UOZ- GR-۱۵۸-۳۰۱۴ تشکر و قدردانی می‌گردد.



شکل ۳. نمودار بای‌پلات دو مؤلفه اصلی برای صفات موردبررسی لاین‌های ذرت (بر اساس گروه‌های تجزیه خوشه‌ای). (a) شرایط کمبود روی و (b) شرایط بهینه (۲ سال زراعی).

Fig. 3. Biplot of the first two principal components for investigated traits and maize lines (based on cluster analysis groups). (a) Zinc deficiency conditions (b) Optimum conditions (2 Crop years).

[1]. Genome wide association study

[2]. RNA sequencing

منابع

Ahangar, A.S., H. Pirdashti, M.A. Esmaeili, S.K. Kazemitabar., Zeinli, E., 2014. Cluster analysis and study of quality characteristics of 30 rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Journal of Crop Breeding. 5,99-111. [In Persian with English summary]. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22286128.1399.12.36.2.9

Alloway, B. J., 2004. Zinc in soils and crop nutrition. Intl. Zinc Association (ILZA)

Arzhang, S., Darvishzadeh, R., Alipour, H., 2022. Evaluation of genetic diversity of maize lines (*Zea mays* L.) under normal and salinity stress conditions. Journal of Cereal Research.11, 243-268. [In Persian with English summary] https://doi.org/10.22124/cr.2022.21075.1699

Babajanpour, A.A., Nematzadeh,G.A., Majidi, E., Ebrahimi, A., Hajipour, A., Hashemi, S.H.R., Alavi, S.M., 2009. Study of variation and genetic relationships among some rice varieties via agronomic traits and RAPD markers. Journal of Crop Breeding. 1, 38-49. [In Persian with English summary].

Brown, P. H., Cakmak, I., Zhang, Q. 1993. Form and function of zinc in plants. Chap 7 in Robson, A. D. (ed) zinc in soils and plants, kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Pp. 90-106.

Chandra, K., Sastry, E.V., Singh, D., 2000. Genetic variation and character association of seed yield and its component in fenugreek. Agricultural Science Digest. 20, 93-95.

Chaudhary, W. B., Ali, M. A., Bajwa, K. S., Iqbal, A., Khan, M. A., Shahid, A. A., Aslam, M.,2017. Correlation analysis of maize genotypes under saline stress and its impact on morphological characteristics. Life Science Journal. 14, 93-101. https://doi.org/10.7537/marslsj140717.15

Eftekhari, S.A., Hassandokht, M.H., Fattahi Moghaddam, M.R., Kashi, A., 2010. Genetic diversity of iranian spinach landraces based on morphological traits. Iranian Journal of Horticultural Sciences. 41, 83-93. [In Persian with English summary]

Ebrahimian, E., Bybordi, A. 2011. Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. Journal of Food, Agriculture and Environment. 9, 422-427.

Erenoglu, B., Nikolic, M., Römheld, V., Cakmak, I., 2002. Uptake and transport of foliar applied zinc (65Zn) in bread and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. Plant and Soil. 241, 251-257. https://doi.org/10.1023/A:1016148925918

Farsi, M., Zolali, J., 2011. Principles of Plant Biotechnology. Ferdowsi University of Mashhad Publication. 554p. [In Persian with English summary]

Food and Agricultore Organization of United Nations., 2018. FAOSTAT. [Online] Awailable at http://www.fao.org/faostat

Ghaffari Azar, A., Darvishzadeh, R., Molaii, B., Kahrizi, D., Darvishi B. 2019. Classification of Maize inbred line based on agromorphological traits in order to produce hybrid seed. Modares Journal of Biotechnology. 10, 297-304. [In Persian with English summary]

Ghodsizad, L, Rahimzadeh Khoei, F., Sadeghzade, B., 2013. Zinc absorption evaluation in barley varieties and landraces under cold dryland conditions. Master of Science, Tabriz Azad University. [In Persian with English summary]

Govindaraj, M., Vetriventhan, M., Srinivasan, M., 2015. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: An overview of Its analytical perspectives. Genetics Research International. https://doi.org/10.1155/2015/431487

Hanway, J., 1971. How a Corn Plant Develops. Iowa State Univ. Sp. Rpt. No. 48.

Hajiboland, R., Singh, B., Romheld, V., 2001. Retranslocation of Zn from leaves as important contributing factor for zinc efficiency of rice genotypes. Plant Nutrition - Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems. 226-227.

Haydon, M.J., Cobbett, C.S., 2007. Transporters of ligands for essential metal ions in plants. New Phytologist. 174, 499-506. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02051.x

Huqe, M. A. S., Haque, M. S., Sagar, A., Uddin, M. N., Hossain, M. A., Hossain, A. Z., Rahman, M. M., Wang, X., Al-Ashkar, I., Ueda, A., El-Sabagh, A., 2021. Characterization of maize hybrids (*Zea mays* L.) for detecting salt tolerance based on morpho-physiological characteristics, ion accumulation and genetic variability at early

vegetative stage. Plants. 10, 2549. https://doi.org/10.3390/plants10112549

Jolliffe, I. 2002. Principal component analysis. Springer series in statistics. 2nd Ed. New York, USA.

Kordi, S., Daneshvarm, M., Sayyahfar, M., Shah Karami, G., 2016. Study of correlation and Path analysis of yield, yield components and some morphological traits in corn hybrids under different fertilizer application methods. Journal of Applied Field Crops Research. 2, 66-74. [In Persian]

Mager, S., Schönberger, B., Ludewig, U., 2018. The transcriptome of zinc deficient maize roots and its relationship to DNA methylation loss. BMC Plant Biology. 18,372. https://doi.org/10.1186/s12870-018-1603-z

Manly, F. 1986. Multivariate Statistical Methods. Chapman and Hall. 224p

Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., Hornik, K., 2021. R package ‘cluster’ Ver. 2.1.2. Cluster analysis basics and extensions.

Marschner, H., 1995. The Soil-Root Interface (Rhizosphere) in Relation to Mineral Nutrition. Mineral Nutrient of Higher Plants, Academic Press London. 537-595. https://doi.org/10.1016/B978-012473542-2/50017-1

Mengel, K., Kirby, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition. International potas. Anistitues Bern. Switzerland. 687p.

Mohammadi, S., Alivand, L., Farahvash, F., Hamzeh, H., Anvari, K., Arefi, S. 2013. Grouping of late maturing corn hybrids in relation to some agronomic traits. Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science). 7, 1-15. [In Persian with English summary].

Morsali Aghajari, F., Darvishzadeh, R., Hatami Maleki, H., Gholinezhad, E., Kalantar. A. 2019. Selection of salinity tolerant lines of sunflower using some physiological characteristics. Journal of Crop Breeding. 11, 185-195. [In Persian with English summary].

Nasri, R.,. Paknejad, F., Sadeghi Shoa, M., Ghorbani, S., Fatemi, Z., 2013. Correlation and path analysis of drought stress on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare*) in Karaj region. Iranian Journal of Agronomy and plant Breeding. 8, 155-165. [In Persian].

Nemati, A., SedghI, M., Sharifi, R. S. and Seiedi, M. N. 2009. Investigation of correlation between traits and path analysis of corn (*Zea mays* L.) grain yield at the climate of Ardabil region (northwest Iran). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 37, 194-198. https://doi.org/10.15835/nbha3713120

Sasaki, A., R Core Team, 2023. _R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org

Sasaki, S., Tsukamoto, M., Saito, M., Hojyo, S., Fukada, T., Takami, M., Furuichi, T., 2018. Disruption of the mouse Slc39a14 gene encoding zinc transporter ZIP14 is associated with decreased bone mass, likely caused by enhanced bone resorption. Federation of European Biochemical Societies Open Bio. 8, 655–663. https://doi.org/10.1002/2211-5463.12399

Valipour, N., Alipour, H., Darvishzadeh, R. 2023. Evaluation of phenotypic diversity of cumulative growing degree-days (GDD) and grain yield in spring wheat cultivars under optimal and zinc deficiency conditions. Plant Productions. 46. [In Persian with English summary]. https://doi.org/10.22055/ppd.2022.39617.2003

Valizadeh, H., Aharizad, S., Shiri, M.R., Mohammadi, S.A., Farahmand, Kh., Bahrampur, T., 2014. Grouping of new maize (*Zea mays* L.) hybrids using yield and morphological traits. Iran Journal Agron Plant Breed. 9, 27-38. [In Persian].

Xiao, Y., Liu, H., Wu, L., Warburton, M., Yan, J., 2017. Genome-wide association studies in maize.praise and stargaze. Molecular Plant. 10,359-374. https://doi.org/10.1016/j.molp.2016.12.008

Yahaya, M.S., Bello, I., Unguwanrimi, A.Y., 2021. Correlation and path-coefficient analysis for granin yild and agronomic traits of Maize (*Zea mays* L.). Science World Journal. 16, 1-13.