Vol 28, No. 1, Spring 2026

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Selection of Pinto Bean Genotypes under Zinc Deficiency Conditions Using Stress Tolerance Indices

Sajjad Bayat[1]✉ | Ezatollah Esfandiari[2] | Ali Akbar Asadi[3] | Ismail Karimi[4]

1. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran. E-mail: sajjadbayat@alumni.znu.ac.ir
2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran. E-mail: esfandiari@maragheh.ac.ir
3. Agricultural and Natural Resources Research Center of Zanjan Province, Zanjan, Iran. E-mail: a.asady@areeo.ac.ir
4. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran. E-mail: ekarimi@maragheh.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 3 October 2025
Received in revised form
28 Desember 2025
Accepted 28 January 2026
Published online 13 April 2026

Keywords:
Correlation
Mean Productivity index
Membership function value
Zinc efficiency

ABSTRACT

Objective: Zinc (Zn) is an essential micronutrient for plants, where it functions structurally and as a cofactor in numerous enzymes. In calcareous soils, Zn bioavailability is often reduced, leading to yield losses. One effective approach to mitigate this problem is to identify and rank pinto bean genotypes with tolerance to Zn deficiency using quantitative evaluation indicators under stress conditions.

Method: In this study, multiple zinc-deficiency tolerance indices—including zinc efficiency (ZE), stress susceptibility (SS), tolerance (TOL), stress tolerance (STI), geometric mean productivity (GMP), mean productivity (MP), and membership function value (MFV)—were used to screen pinto bean genotypes for Zn-deficiency tolerance. The experiment was conducted at the research farm of the Faculty of Agriculture, University of Zanjan during the 2019 growing season using an augment design with 10 blocks. To distinguish among 29 pinto bean genotypes, two Zn regimes were applied: no foliar Zn application and foliar Zn application at a concentration of 1/1000. Variance analysis was applied to confirm field uniformity using a completely randomized design. Grain yield data under Zn deficiency and under foliar Zn application were used to compute the indices, with MFV calculated based on their standardized performance.

Results: The results showed that both Zn deficiency and foliar Zn spraying had a significant effect on grain yield ($p<0.0001$). Across all genotypes, foliar Zn increased grain yield by an average of 29.84%. Based on the ZE-based classification, the 29 genotypes were grouped into five categories: one very zinc-efficient genotype (ZE=99.64), three zinc-efficient genotypes ($90.38 \leq ZE < 99.64$), twenty relatively zinc-efficient genotypes ($71.08 \leq ZE < 90.38$), four low zinc-efficient genotypes ($64.51 \leq ZE < 71.08$), and one zinc-inefficient genotype (ZE=56.59). Furthermore, the correlations among STI, MP, and GMP were numerically close to unity, indicating that genotype ranking using these indices produced comparable outcomes. The genotype KS-21567 showed the highest MP value (367.19 g/m²) together with a relatively zinc-efficient ZE (85.59%), whereas KBC-22138 had the lowest MP (229.81 g/m²) with a relatively zinc-efficient ZE (77.32%).

Conclusions: In conclusion, the identification of zinc-efficient and high-yielding genotypes can support breeding efforts aimed at developing improved cultivars. The MFV and MP indices are recommended as useful tools for differentiating and classifying genotypes under Zn deficiency, and MFV may also be applicable to other abiotic stress conditions.

Cite this article: Bayat, S., Esfandiari, E., Asadi, A. A., & Karimi, I. (2026). Selection of Pinto Bean Genotypes under Zinc Deficiency Conditions Using Stress Tolerance Indices. *Journal of Crops Improvement*, 28 (1), 39-60. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.403602.2955

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.403602.2955

دوره بیست و هشتم، شماره اول، بهار ۱۴۰۵

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

گزینش ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی در شرایط کمبود روی، با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

سجّاد بیات[۱]✉ | عزّت‌اله اسفندیاری[۲] | علی‌اکبر اسدی[۳] | اسماعیل کریمی[۴]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: sajjadbayat@alumni.znu.ac.ir
۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: esfandiari@maragheh.ac.ir
۳. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: a.asady@areeo.ac.ir
۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: ekarimi@maragheh.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۲۴

کلیدواژه‌ها:
ارزش تابع عضویت
روی کارایی
شاخص متوسط تولید
همبستگی

چکیده

هدف: روی عنصری کم‌مصرف و ضروری برای گیاه بوده و نقش ساختاری و کوفاکتوری در آنزیم‌های متعدد ایفا می‌کند. در خاک‌های آهکی، جذب روی کاهش می‌یابد که برآیند آن تقلیل عملکرد است. لذا، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود روی با رتبه‌بندی از طریق شاخص‌های ارزیابی در شرایط تنش از روش‌های رفع این چالش است.

روش پژوهش: در این بررسی، از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش مانند روی کارایی، حساسیت به تنش، تحمل، تحمل به تنش، میانگین هندسی تولید و به‌ویژه میانگین بهره‌وری یا متوسط تولید (MP) و مقدار تابع عضویت (MFV) در راستای گزینش ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی و ارزیابی تحمل به کمبود روی استفاده شد. بدین منظور آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۱۳۹۷–۱۳۹۸ به‌صورت آگمنت با ۱۰ بلوک اجرا گردید. برای ایجاد تمایز بین ۲۹ ژنوتیپ یا رقم لوبیا چیتی، دو سطح کود روی (عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با غلظت یک در هزار) لحاظ شد. برای محاسبه شاخص‌ها به‌ویژه شاخص MFV، داده‌های حاصل از اندازه‌گیری عملکرد دانه در واکنش به کمبود و محلول‌پاشی روی به‌کار برده شد. یکنواختی زمین آزمایشی با تجزیه واریانس شاهدها به‌وسیله طرح کاملاً تصادفی تعیین گردید.

یافته‌ها: در این پژوهش، آزمون T مشخص نمود، کمبود و محلول‌پاشی روی بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری ($p<۰/۰۰۰۱$) داشته و با مصرف روی، عملکرد دانه در همه ژنوتیپ‌ها به‌طور میانگین ۲۹/۸۴ درصد افزایش یافت. هم‌چنین، براساس معیارهای ارزیابی، ژنوتیپ‌ها به پنج گروه، یک ژنوتیپ بسیار روی‌کارآ (ZE=۹۹/۶۴)، سه ژنوتیپ روی‌کارآ (۹۹/۶۴>ZE≥۹۰/۳۸)، ۲۰ ژنوتیپ و رقم نسبتاً روی‌کارآ (۹۰/۳۸>ZE≥۷۱/۰۸)، چهار رقم و ژنوتیپ کم روی‌کارآ (۷۱/۰۸>ZE≥۶۴/۵۱) و یک ژنوتیپ غیر روی‌کارآ (ZE=۵۶/۵۹) تفکیک شد. هم‌چنین، با توجه به یکسان‌بودن مقادیر عددی همبستگی سه شاخص STI، MP و GMP که نزدیک به عدد یک می‌باشند، نتیجه‌گیری شد ارزیابی ژنوتیپ‌ها براساس هر یک از این شاخص‌ها دارای نتایج یکسان است. بیش‌ترین MP متعلق به ژنوتیپ KS-21567 (۳۶۷/۱۹ گرم بر مترمربع) بود که ZE آن برابر ۸۵/۵۹ درصد می‌باشد (نسبتاً روی‌کارا و نسبتاً متحمل به تنش). کم‌ترین MP به مقدار ۲۲۹/۸۱ گرم بر مترمربع در ژنوتیپ KBC-22138 با کارایی روی ۷۷/۳۲ درصد، نسبتاً روی‌کارا و نسبتاً متحمل به تنش به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: با شناسایی ژنوتیپ‌های روی‌کارا و دارای پتانسیل عملکرد بالا، توسعه ارقام مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی، امکان‌پذیر شده و می‌توان گفت دو شاخص MFV و MP به‌عنوان شاخص‌های مهم و تسهیل‌کننده در جداسازی و طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها قابل استفاده می‌باشند که شاخص MFV برای سایر تنش‌های غیرزیستی نیز پیشنهاد می‌گردد.

استناد: بیات، سجّاد؛ اسفندیاری، عزّت‌اله؛ اسدی، علی‌اکبر و کریمی، اسماعیل (۱۴۰۵). گزینش ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی در شرایط کمبود روی، با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۸ (۱)، ۳۹-۶۰. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.403602.2955

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

حبوبات به‌طور گسترده در سراسر جهان کشت می‌شود و در تأمین نیازهای تغذیه‌ای انسان نقش مؤثری دارد (ال‌سید[1] و همکاران، ۲۰۲۱). در ایران کشت حبوبات در مناطق مختلف انجام می‌گیرد که در این میان کشت لوبیا چیتی در استان زنجان مرسوم بوده و از حدود ۷۵ هزار هکتار کشت سالانه این محصول، تقریباً هفت هزارهکتار آن در این استان می‌باشد (پورتال وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲). انواع لوبیا[2] عضو مهمی از خانواده حبوبات می‌باشند که میزان پروتئین و کربوهیدرات آن به‌ترتیب ۲۰ تا ۲۵ و ۵۰ تا ۶۵ درصد بوده و به‌دلیل داشتن پروتئین دو تا سه برابری در مقایسه با غلات، منبع پروتئینی به‌ویژه در اقشار کم‌درآمد و آسیب‌پذیر به‌شمار می‌آید (بیات و اسفندیاری، ۱۴۰۳).

تنش‌های محیطی از موانع اصلی افزایش بهره‌وری محصول هستند و در طول دوره رشدونمو بر گیاهان تأثیر می‌گذارند که کمبود عناصر ریزمغذی نظیر روی از جمله آن‌ها می‌باشد که در خاک‌های آهکی بیش‌تر رخ می‌دهد (عالی‌پور بابادی و همکاران، ۱۴۰۴). کمبود روی در حدود ۶۰ درصد از اراضی کشور شایع بوده و آهکی‌بودن خاک، پائین بودن رطوبت و ماده آلی خاک از عوامل بروز کمبود روی در خاک می‌باشند (گالیندو[3] و همکاران، ۲۰۲۱) که این کمبود، کاهش ۵۰ درصدی تولید محصولات گیاهی را سبب می‌گردد (باغبانی آرانی[4] و همکاران، ۱۳۹۴). لوبیا به کمبود روی حساس بوده و حد بحرانی و بیش‌بود این عنصر برای لوبیا به‌ترتیب حدود ۰/۵ تا یک و ۲۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک گزارش گردیده است (بیگی و همکاران، ۱۳۹۱آ؛ مورتودت[5]، ۲۰۰۰). کمبود روی در خاک یکی از چالش‌های نگران‌کننده قرن حاضر برای سلامت جهانی می‌باشد که حدود ۱۱ درصد از جمعیت دنیا معادل با ۱/۱ میلیارد نفر انسان را تحت تأثیر قرار داده است (خان[6] و همکاران، ۲۰۲۲). در اکثر مناطق جهان کمبود روی یکی از مشکلات تغذیه‌ای در رژیم غذایی انسان است (وانگ[7] و همکاران، ۲۰۱۲) که تبعات منفی بر سلامت، کیفیت آموزش و شرایط فیزیکی می‌تواند داشته باشد.

عنصر روی در بسیاری از فرایندهای متابولیکی گیاهان به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌های حیاتی گیاه از جمله کربونیک آنهیدراز، دهیدروژنازها، آلدولازها، پلی‌مرازها و هم‌چنین در متابولیسم پروتئین‌ها، قندها، فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک، فتوسنتز گیاه، فعالیت ضدمیکروبی و جذب ماورای بنفش ایفای نقش می‌نماید (باندیرا[8] و همکاران، ۲۰۲۰). روی برای بیوسنتز RNA و DNA، هورمون اکسین و برخی از اسیدهای آمینه همچون سیستئین، هیستیدین، تریپتوفان، گلوماتیک‌اسید و آسپارتیک‌اسید ضروری است (شو[9] و همکاران ۲۰۰۸؛ پاسرینی[10] و همکاران، ۲۰۰۷). این عنصر در تقسیم سلولی، سنتز و ایجاد ساختار غشای سلولی و محافظت غشا از آسیب انواع اکسیژن واکنش‌گر و سایر فرایندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها دخالت دارد (مارشنر[11]، ۲۰۱۲). باوجود پایین‌بودن نیاز گیاهان به عنصر روی، کمبود آن منجر به ناکارآمدی انواع سیستم‌های آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با این عنصر شده و تنش‌های فیزیولوژیک در گیاه بروز می‌نمایند (بیات و همکاران، ۱۴۰۱). در مقابل، فراهمی این عنصر باعث می‌شود سنتز

1. El-Sayed
2. *Phaseolus vulgaris* L.
3. Galindo
4. Baghbani Arani
5. Mortvedt
6. Khan
7. Wang
8. Bandeira
9. Shu
10. Passerini
11. Marschner

کربوهیدرات‌ها در گیاه در سطح بالاتری صورت گیرد و علاوه بر افزایش عملکرد بیولوژیک، منجر به افزایش غلظت روی دانه نیز گردد.

با توجه به توضیحات فوق، هدف از این پژوهش ارزیابی ژنوتیپ‌ها و ارقام لوبیا چیتی و بررسی پاسخ آن‌ها در خاک آهکی دارای کمبود روی به‌منظور شناسایی ژنوتیپ(های) برتر جهت استفاده در برنامه‌های آتی به‌نژادی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی در شرایط تنش و شاخص روی کارایی بود.

۲. پیشینهٔ پژوهش

پژوهش‌های زیادی در راستای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر لوبیا (سهیلی‌موحد و همکاران، ۱۳۹۶)، سویا (رزمی و همکاران، ۱۴۰۱) و ذرت (کرمی و همکاران، ۱۴۰۳) انجام شده است. لازمه هر برنامه به‌نژادی، وجود تنوع ژنتیکی کافی است (حسینی و همکاران، ۱۴۰۳). تنوع بین ژنوتیپ‌ها در پاسخ به تنش خشکی و کمبود روی در باقلا و لوبیا به‌ترتیب توسط شیخ و میرکریمی (۱۴۰۳) و بیگی و همکاران (۱۳۹۱آ) گزارش شده است. پژوهش‌گران روش شناسایی و کشت ارقام متحمل به کمبود روی را راه‌کار مناسب‌تری دانسته (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۴) و با روش‌های مختلف به‌دنبال اجرایی‌کردن آن هستند. یکی از این روش‌ها استفاده از شاخص‌های متفاوت برای سنجش پاسخ و رفتار ژنوتیپ‌های مختلف به شرایط دشوار محیطی (تنش و بدون تنش) با استفاده از شاخص‌های ارزیابی تحمل یا حساسیت می‌باشد (سنگی و همکاران، ۱۴۰۰). این شاخص‌ها براساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تنش و بدون تنش محاسبه می‌شوند (فرناندز[1]، ۱۹۹۲). شاخص حساسیت به تنش (SSI)[2] یکی از شاخص‌های انتخاب می‌باشد که توسط فیشر[3] و مورر[4] (۱۹۷۸) پیشنهاد شد. روزیل[5] و هامبلین[6] (۱۹۸۱) شاخص‌های تحمل (TOL)[7] و میانگین بهره‌وری یا متوسط تولید (MP)[8] را معرفی نمودند. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری یا تولید (GMP)[9] توسط فرناندز معرفی شد. زمانی‌که اختلاف نسبی عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys)[10] و بدون تنش (Yp)[11] بالا باشد شاخص MP دارای اریبی به سمت Yp خواهد بود در حالی که شاخص GMP چنین اریبی را نخواهد داشت. بر این اساس شاخص دیگری تحت عنوان شاخص تحمل به تنش (STI)[12] توسط فرناندز (۱۹۹۲) ارائه گردید. از دیگر شاخص‌های تعیین‌کننده کارایی در گیاهان می‌توان کارایی ارقام از لحاظ عناصر، مثل روی (ZE)[13] را نام برد (بیگی و همکاران ۱۳۹۱ب؛ حاجی‌صالح‌اوغلو[14] و همکاران، ۲۰۰۴ب). مقدار تابع عضویت (MFV)[15] و میانگین ارزش تابع عضویت (MMFV)[16] شاخصی است که علاوه‌بر بررسی حساسیت به تنش (کمبود روی)، به‌وسیله آن می‌توان ارقام و ژنوتیپ‌ها را تفکیک نمود (گیاناگودار[17] و همکاران، ۲۰۲۴).

1. Fernandez
2. Stress Susceptibility Index (SSI)
3. Fischer
4. Maurer
5. Rosielle
6. Hamblin
7. Tolerance Index (TOL)
8. Mean Productivity (MP)
9. Geometric Mean Productivity (GMP)
10. Yield Stress (Ys)
11. Yield Potential (Yp)
12. Stress Tolerance Index (STI)
13. Zinc Efficiency (ZE)
14. Hacisalihoglu
15. Membership Function Value
16 Mean Membership Function Value
17. Gyanagoudar

ژنوتیپ‌های ماش براساس پاسخ آن‌ها به شرایط محیطی با تنش و بدون تنش، به چهار گروه A تا D توسط فرناندز (۱۹۹۲) تقسیم شدند. ارزیابی شاخص‌های مختلف تنش در گندم نشان داد ضرایب همبستگی روی‌کارایی با شاخص‌های (SSI) و (TOL) منفی و معنی‌دار است. هم‌چنین، همبستگی هر سه شاخص میانگین تولید، میانگین هندسی تولید و تحمل به تنش با عملکرد دانه گندم در هر دو شرایط کمبود و کوددهی، مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بنابراین به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای شناسایی و معرفی ارقام متحمل به کمبود روی بودند (خوشگفتارمنش و همکاران، ۱۳۹۰).

استفاده از کودهای شیمیایی ساده نظیر سولفات‌روی، راهبرد رایج دیگری جهت رفع کمبود روی در خاک‌های آهکی است (عالی‌پور بابادی و همکاران، ۱۴۰۴). جمشیدی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش نمودند اثر محلول‌پاشی سولفات‌روی با غلظت‌های ۱/۵ در هزار و سه در هزار نسبت به تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) بر عملکرد دانه لوبیا قرمز افزایشی و معنی‌دار بود. درحالی‌که اختلاف بین دو غلظت با همدیگر معنی‌دار نشد. هم‌چنین، در بررسی دیگری افزایش عملکرد دانه لوبیا قرمز تحت شرایط آبیاری کامل، با محلول‌پاشی ۰/۵ در هزار کلات‌روی در مقایسه با عدم محلول‌پاشی روی معنی‌دار شد (فلاح و همکاران، ۱۴۰۱). تابش[1] و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که پیش‌تیمار بذر با آمینو کلات‌های روی باعث بهبود عملکرد و کیفیت تغذیه‌ای گیاه لوبیا کشت‌شده در خاک آهکی و کاهش اثرات ناشی از کمبود روی شد. با مصرف خاکی ۴۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات‌روی در شرایط آهکی‌بودن خاک و کمبود روی، عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۴). هم‌چنین در آزمایشی، اثر مصرف ۱۰ میلی‌گرم سولفات‌روی در کیلوگرم خاک، بر عملکرد ارقام لوبیا چیتی افزایشی بود که درصد افزایش عملکرد در ارقام با کارایی روی کم‌تر، بالاتر از ارقام با کارایی روی بیش‌تر شد (بیگی و همکاران، ۱۳۹۱ب). کاویان‌اطهر و ابوطالبیان (۱۳۹۹) بیان نمودند، به‌علت تثبیت عنصر روی در خاک و دشوارشدن جذب آن به‌وسیله گیاه، محلول‌پاشی این عنصر نسبت به مصرف خاکی برتری دارد.

۳. روش پژوهش

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سولفات‌روی بر عملکرد دانه و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود روی، ۲۹ رقم یا ژنوتیپ لوبیا چیتی با انواع تیپ رشدی محدود و نامحدود، دارای فرم‌های رویشی رونده، ایستاده و بالا رونده و با دوره رشد مختلف به‌صورت آگمنت در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، با متوسط بارندگی ۲۸۲/۴ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۱/۷۱ درجه سانتی‌گراد، سال زراعی ۹۷–۹۸ موردمطالعه قرار گرفتند. پس از عملیات تهیه زمین و ضدعفونی بذور با قارچ‌کش کاربندازیم (۰/۷ به هزار، وزنی–وزنی)، هر ژنوتیپ به‌دلیل کمبود بذر در یک خط یک و نیم متری کشت شد. فاصله بوته‌ها روی خطوط، پنج سانتی‌متر و فاصله عرضی هر خط کشت ۶۰ سانتی‌متر لحاظ گردید. ۱۰ بلوک برای تشخیص یکنواختی زمین در نظر گرفته شد. به‌طوری‌که در هر بلوک، پنج ژنوتیپ به‌صورت تصادفی به‌همراه چهار رقم لوبیا (خمین، کوشا، صدری و غفار) به‌عنوان شاهد استقرار یافت. لازم به‌ذکر است پنج بلوک اول با غلظت یک در هزار سولفات‌روی، طبق مقیاس BBCH (فلر[2] و همکاران، ۱۹۹۵ب) در مراحل فنولوژیکی ظهور سه برگچه اول (کد ۱۳)، مشاهده اولین جوانه‌های گل (کد ۵۹) و آغاز پرشدن دانه (کد ۷۵) محلول‌پاشی شدند. اما، پنج بلوک دوم (شاهد) فقط با آب محلول‌پاشی گردید. شایان ذکر است سایر شرایط برای همه بلوک‌ها یکسان بود. عناصر دیگر، طبق آزمون خاک در

1. Tabesh
2. Feller

مرحله آماده‌سازی بستر کشت به تمام ردیف‌های کاشت اضافه و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است. آبیاری بوته‌ها به‌روش قطره‌ای با نوارتیپ انجام شد.

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش مزرعه‌ای (دانشگاه زنجان) در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

بافت خاک	رس	سیلت	شن	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	ماده آلی	مقدار آهک	نیتروژن قابل جذب	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	روی قابل جذب	مس قابل جذب	آهن قابل جذب	منگنز قابل جذب
	(درصد)					(درصد)			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)					
لومی شنی	۱۷	۲۹	۵۴	۷/۶۸	۱/۰۴	۱۵۶	۰/۴۵	۰/۵	۸/۴	۱۵۶	۰/۴۵	۰/۵	۲/۱	۰/۳۸

در این آزمایش در زمان رسیدگی فیزیولوژیک با انتخاب تصادفی پنج بوته از هر خط کشت، عملکرد دانه در هر دو شرایط کمبود و محلول‌پاشی روی اندازه‌گیری شد. سپس، کارایی روی و شاخص‌های کارایی ارقام لوبیا چیتی، شاخص تحمل، متوسط تولید یا میانگین حسابی عملکرد، شاخص حساسیت به تنش، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی تولید و مقدار تابع عضویت از طریق روابط ریاضی ذیل محاسبه و به‌دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲. روابط ریاضی و معادلات شاخص‌های موردمطالعه در این پژوهش

رابطه	شاخص	معیار برآورد (فرمول)	مأخذ
۱	کارایی ارقام لوبیا چیتی:	Zn-Efficiency=(Ys/Yp)×100	حاجی‌صالح‌اوغلو و همکاران (۲۰۰۴ب)
۲	تحمل:	TOL=Yp-Ys	روزیل و هامبلین (۱۹۸۱)
۳	متوسط تولید یا میانگین حسابی عملکرد:	MP=(Yp+Ys)/2	
۴	حساسیت به تنش:	SSI=$\{1-(Ys/Yp)\}$/SI	فیشر و مورر (۱۹۷۸)
۵	تحمل به تنش:	$STI = \frac{Ys.Yp}{(\overline{Yp})^2}$	فرناندز (۱۹۹۲)
۶	میانگین هندسی تولید:	$GMP = \sqrt{Yp \times Ys}$	
۷	مقدار تابع عضویت:	$MFV = \frac{\frac{Ys}{Yp}-\left(\frac{Ys}{Yp}min\right)}{\left(\frac{Ys}{Yp}max\right)-\left(\frac{Ys}{Yp}min\right)}$	گیاناگودار و همکاران (۲۰۲۴)

در معادلات فوق، Ys و Yp به‌ترتیب عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند.

مقادیر MFV بین یک و صفر بوده و برای طبقه‌بندی تحمل به تنش برای هر ژنوتیپ، از میانگین و انحراف معیار میانگین MFV با در نظر گرفتن فاصله اطمینان ۹۰ درصد، به شرح زیر استفاده شد (گیاناگودار و همکاران، ۲۰۲۴).

رابطه ۸) بسیار متحمل به تنش: انحراف معیار × ۱/۶۴ + میانگین ≥ MMFV

رابطه ۹) متحمل به تنش: انحراف معیار × ۱ + میانگین ≥ MMFV > انحراف معیار × ۱/۶۴ + میانگین

رابطه ۱۰) نسبتاً متحمل به تنش: انحراف معیار × ۱ − میانگین ≥ MMFV > انحراف معیار × ۱ + میانگین

رابطه ۱۱) حساس به تنش: انحراف معیار × ۱/۶۴ − میانگین ≥ MMFV > انحراف معیار × ۱ − میانگین

رابطه ۱۲) بسیار حساس به تنش: انحراف معیار × ۱/۶۴ − میانگین > MMFV

ابتدا جهت بررسی معنی‌داربودن اختلاف میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط کمبود و کفایت روی، دو گروه تشکیل شد. گروه اول شامل میانگین عملکرد هر یک از ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط کمبود روی و گروه دوم دربرگیرنده میانگین عملکرد هرکدام از ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط محلول‌پاشی بودند. به‌طوری‌که میانگین عملکرد هرژنوتیپ در هر گروه به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. سپس دو گروه با استفاده از T-Test مورد آزمون قرار گرفتند. با لحاظ‌نمودن هر بوته به‌عنوان یک تکرار، عملکرد دانه در شرایط کمبود و کفایت روی و هم‌چنین اعداد حاصل از معادلات موجود برای

۲۹ نمونه لوبیا چیتی در پنج تکرار به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با استفاده از رویه ANOVA و به کمک نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. در صورت معنی‌داربودن F جدول تجزیه واریانس، میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)[1] در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. همبستگی‌های ساده نیز با روش CORR بین شاخص‌ها و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط کمبود و بدون کمبود روی محاسبه گردید.

۴. یافته‌های پژوهش

برای تعیین یکنواختی زمین آزمایشی، ابتدا تجزیه واریانس بر روی شاهدها انجام گردید. با ملاحظه نتایج تجزیه واریانس شاهدها (خمین، کوشا، صدری و غفار)، عدم معنی‌داری بلوک‌ها نشان‌دهنده یکنواختی زمین آزمایشی و عدم نیاز به تصحیح بلوک‌ها می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس ارقام شاهد (خمین، کوشا، صدری و غفار) در طرح آگمنت برای تشخیص یکنواختی بلوک‌ها

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		بلوک‌های عدم محلول‌پاشی سولفات‌روی (بلوک ۱، ۲، ۳، ٤ و ٥)	بلوک‌های محلول‌پاشی سولفات‌روی (بلوک ٦، ۷، ۸، ۹ و ۱۰)
تکرار یا بلوک	۴	۳۸۸/۵۱ns	۱۳۳۳۳/۷۸ns
تیمار	۳	۱۲۹۶۱/۸۶**	۶۶۰۸۲/۴۴**
اشتباه آزمایش	۱۲	۲۹۶/۱۶	۶۹۷۴/۰۶
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۲۶	۲۳/۴۶

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

۴. ۱. عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط کمبود و محلول‌پاشی روی طبق آزمون T نشان داد، محیط رشد (کمبود و محلول‌پاشی روی) بر عملکرد دانه تأثیر بسیار معنی‌داری ($p < ۰/۰۰۰۱$) داشته است (جدول ۴).

جدول ٤. مقایسه میانگین عملکرد دانه در کاربرد و عدم کاربرد روی (۲۹ ژنوتیپ لوبیا چیتی) با آزمون T(T-Test)

پارامتر	عدد آماره T	میانگین Zn-	میانگین Zn+	مقادیر افزایش یا کاهش (گرم بر مترمربع)
میانگین عملکرد دانه (گرم بر مترمربع)	-۵/۴۱**	۲۶۵/۴	۳۴۴/۶	+۷۹/۲

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط محلول‌پاشی با روی ۳۴۴/۶ گرم در مترمربع و در شرایط بدون محلول‌پاشی ۲۶۵/۴ گرم در مترمربع بود. بنابراین با مصرف روی، عملکرد دانه در همه ژنوتیپ‌ها به‌طور میانگین ۲۹/۸۴ درصد افزایش یافت (جدول ۴). بیش‌ترین افزایش مربوط به ژنوتیپ غیر روی‌کارای KS-21551 (۲۱۷/۵۷ گرم در مترمربع) بود (جدول ۶). بیش‌ترین و کم‌ترین YP به‌ترتیب به رقم صدری و ژنوتیپ KS-21565 تعلق داشت. هم‌چنین، ژنوتیپ‌های KS-21567 و KBC-22138 به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین YS را به خود اختصاص دادند. رقم صدری و ژنوتیپ KBC-22138 بیش‌ترین و کم‌ترین MP را دارا بودند.

1. Least Significant Difference

۴. ۲. همبستگی شاخص‌ها

برای اطلاع از رابطه بین شاخص‌های موردبررسی تجزیه همبستگی انجام شد (جدول ۵). نتایج نشان داد عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی سولفات‌روی (YP)، دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط بدون محلول‌پاشی (YS) بود. از طرفی همبستگی عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی، با همه شاخص‌های موردمطالعه معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) گردید. یافته‌های پژوهش نشان داد، ضریب همبستگی عملکرد دانه لوبیا در هر دو محیط کمبود و محلول‌پاشی روی با شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین تولید و میانگین هندسی تولید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و مثبت بود.

جدول ۵. همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به کمبود و عملکرد دانه در شرایط کفایت و کمبود روی در ژنوتیپ‌های لوبیا

شاخص	ZE	TOL	SSI	YS	YP	STI	MP	GMP	MMFV
ZE	۱								
TOL	-۰/۹۳۶**	۱							
SSI	-۱**	+۰/۹۳۶**	۱						
YS	+۰/۲۲۷^{ns}	+۰/۰۱۱^{ns}	-۰/۲۲۶^{ns}	۱					
YP	-۰/۵۶۶**	+۰/۷۶۷**	+۰/۵۶۶**	+۰/۶۵۰**	۱				
STI	-۰/۲۲۷^{ns}	+۰/۴۶۹*	+۰/۲۲۸^{ns}	+۰/۸۸۴**	+۰/۹۲۴**	۱			
MP	-۰/۲۸۰^{ns}	+۰/۵۱۷**	+۰/۲۸۱^{ns}	+۰/۸۶۲**	+۰/۹۴۶**	+۰/۹۹۵**	۱		
GMP	-۰/۲۰۵^{ns}	+۰/۴۴۱*	+۰/۲۰۶^{ns}	+۰/۹۰۲**	+۰/۹۱۴**	+۰/۹۹۶**	+۰/۹۹۶**	۱	
MMFV	+۱**	-۰/۹۳۶**	-۱**	+۰/۲۲۷^{ns}	-۰/۵۶۵**	-۰/۲۲۷^{ns}	-۰/۲۸۰^{ns}	-۰/۲۰۵^{ns}	۱

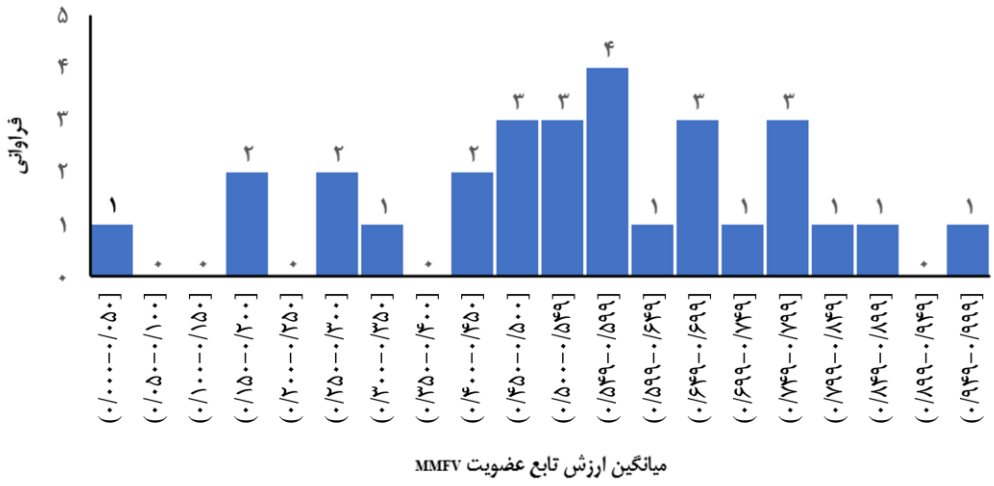
ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ZE: شاخص کارایی روی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، YS: عملکرد دانه در شرایط بدون محلول‌پاشی روی، YP: عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی روی، STI: شاخص تحمل به تنش، MP: شاخص میانگین بهره‌وری یا متوسط تولید، GMP: شاخص میانگین هندسی تولید و MMFV: شاخص میانگین ارزش تابع عضویت.

۴. ۳. شاخص‌های گزینش در شرایط تنش

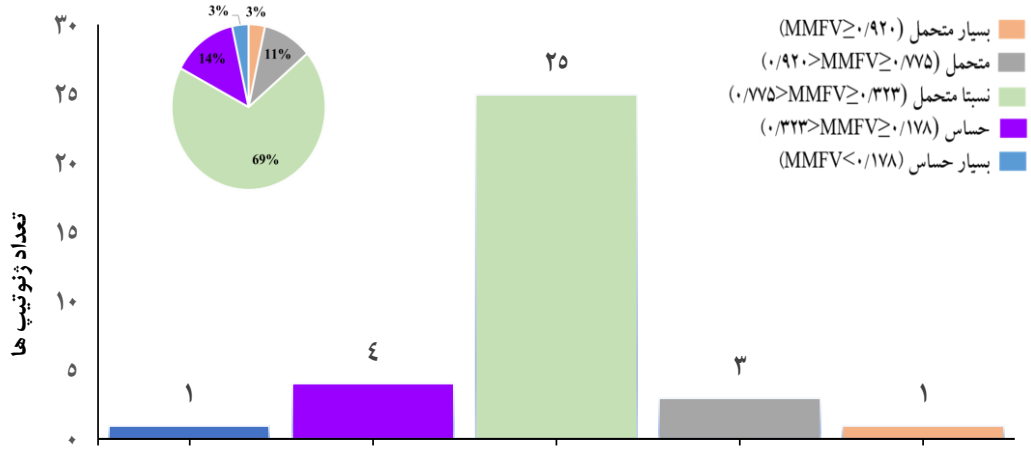
۴. ۳. ۱. شاخص‌های تحمل به تنش MMFV، ZE، SSI و TOL

به‌منظور بررسی حساسیت به کمبود روی و تفکیک ارقام و ژنوتیپ‌ها، از میانگین ارزش تابع عضویت (MMFV) استفاده شد. مقادیر MMFV برای ارقام و ژنوتیپ‌های موردمطالعه با میانگین ۰/۵۴۹، از ۰/۹۹۹ تا ۰/۰۰۰ متغیر بود (شکل ۱).



شکل ۱. نمودار توزیع فراوانی میانگین ارزش تابع عضویت (MMFV) ژنوتیپ‌ها و ارقام لوبیا چیتی براساس شاخص تحمل به تنش کمبود روی

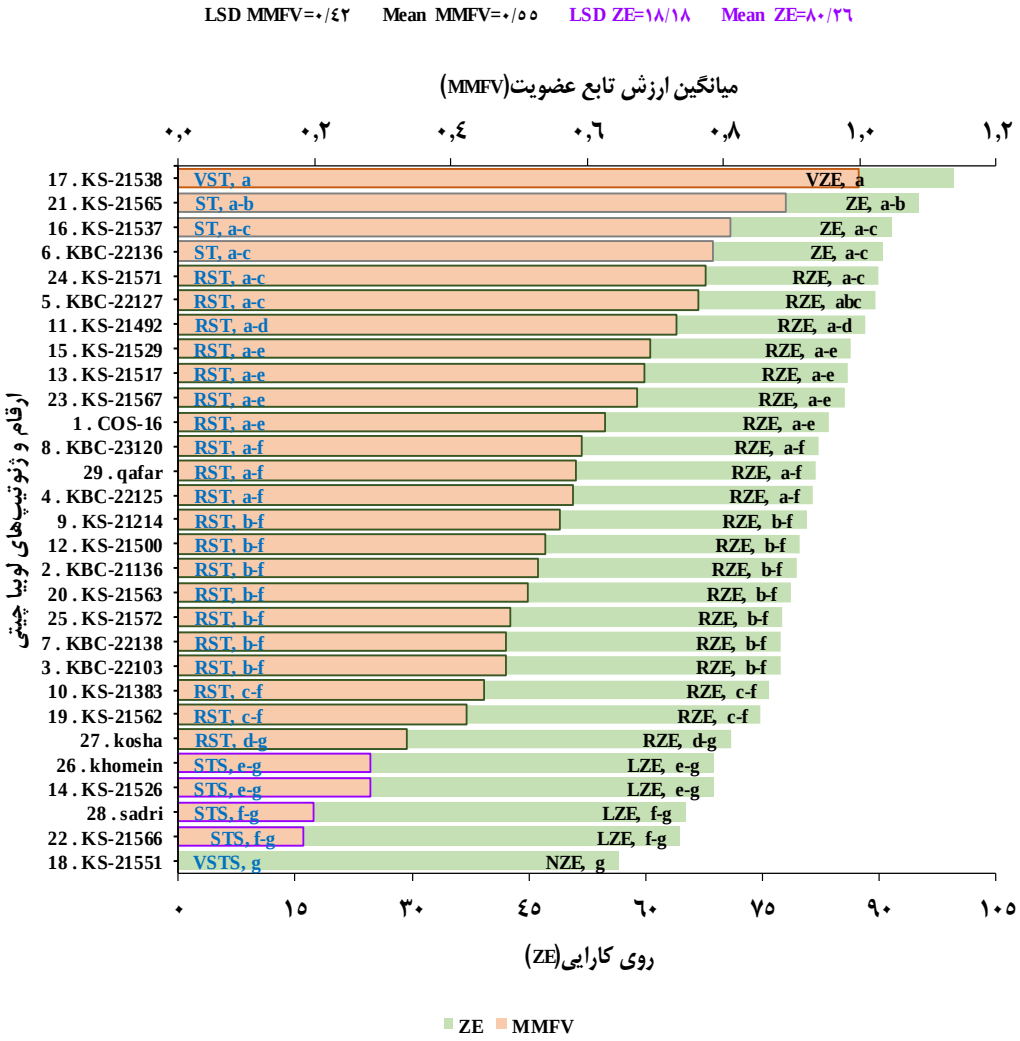
ارقام و ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش کمبود روی با درنظرگرفتن میانگین MFV (۰/۵۴۹) و انحراف معیار (۰/۲۲۶) در پنج گروه متمایز از لحاظ سطوح تحمل به تنش کمبود روی دسته‌بندی شدند (شکل ۲). براساس معیارهای ارزیابی میانگین MFV، ارقام و ژنوتیپ‌های موردمطالعه به یک ژنوتیپ بسیار متحمل به تنش، سه ژنوتیپ متحمل به تنش، ۲۰ ژنوتیپ و رقم نسبتاً متحمل به تنش، چهار رقم و ژنوتیپ حساس به تنش و یک ژنوتیپ بسیار حساس به تنش تفکیک شدند (شکل ۲).



شکل ۲. طبقه‌بندی ۲۹ ژنوتیپ لوبیا براساس واکنش به تنش کمبود روی با استفاده از میانگین و انحراف معیار MMFV

ژنوتیپ KS-21538 در گروه اول به‌عنوان ژنوتیپ بسیار متحمل به تنش و ژنوتیپ KS-21551 در گروه پنجم به‌عنوان ژنوتیپ بسیار حساس به تنش قرار گرفتند (شکل ۳). ملاحظه می‌شود همبستگی سه شاخص ZE، SSI و MMFV با همدیگر بسیار بالا و دارای مقدار عددی یک بودند که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. هم‌چنین، همبستگی این سه شاخص با YP، معنی‌دار گردید و علاوه‌بر آن دارای مقادیر عددی یکسان بود (جدول ۵). بنابراین، ارزیابی هم‌زمان ژنوتیپ‌ها با سه شاخص ذکرشده نتیجه یکسانی را ارائه خواهد نمود (شکل ۵). در نتیجه، پنج گروه و گروه‌بندی حاصل از MMFV مشمول دو شاخص ZE و SSI نیز می‌شود (شکل‌های ۳ و ۵).

اطلاعات شاخص ZE در جدول (۶) گزارش شده است. براساس شباهت و همسان‌بودن میانگین ارزش تابع عضویت با روی کارایی، در طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس شاخص ZE، گروه‌های حاصل از MMFV با روی کارایی ژنوتیپ‌ها تطبیق داده شد. در نتیجه کارایی روی ژنوتیپ‌های لوبیا متفاوت بود که از غیر روی کارا تا بسیار روی کارا تعیین گردید. در این گروه‌بندی، پنج گروه مشخص شد که شامل یک ژنوتیپ غیر روی کارآ (ZE= ۵۶/۵۹)، چهار رقم و ژنوتیپ کم روی کارآ (۶۴/۵۱ ≤ZE< ۷۱/۰۸)، ۲۰ ژنوتیپ و رقم نسبتاً روی کارآ (۷۱/۰۸ ≤ZE< ۹۰/۳۸)، سه ژنوتیپ روی کارآ (۹۰/۳۸ ≤ZE< ۹۹/۶۴) و یک ژنوتیپ بسیار روی کارآ (ZE= ۹۹/۶۴) بود (شکل ۳). ژنوتیپ‌های KS-21551 و KS-21538 به‌ترتیب با ۵۶/۵۹ و ۹۹/۶۴ درصد، کم‌ترین و بیش‌ترین کارایی را به خود اختصاص دادند. علاوه‌بر آن، واکنش ژنوتیپ‌های کم روی کارا به اضافه‌کردن کود روی بیش‌تر بود که این موضوع در شاخص تحمل نمایان است (شکل ۶).



شکل ۳. مقایسه مقادیر میانگین شاخص روی کارایی (ZE) و میانگین ارزش تابع عضویت (MMFV) در ارقام و ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی.
(VZE)Very Zinc Efficient: بسیار روی کارا، Zinc Efficient (ZE): روی کارا، Relatively Zinc Efficient (RZE): نسبتاً روی کارا، Low Zinc Efficient (LZE): کم روی کارا، Non Zinc Efficient (NZE): غیر روی کارا؛ Very Stress Tolerant (VST): بسیار متحمل به تنش، Stress Tolerant (ST): متحمل به تنش، Relatively Stress Tolerant(RST): نسبتا متحمل به تنش، Sensitive To Stress (STS): حساس به تنش، Very Sensitive To Stress (VSTS): بسیار حساس به تنش.

براساس نتایج فوق می‌توان اظهار نمود ژنوتیپ‌های بسیار روی کارا دارای ZE (بیش از ۹۹ درصد)، روی کارا (بالای ۹۰ و زیر ۹۹ درصد)، نسبتاً روی کارا (بیش‌تر از ۷۰ و کم‌تر از ۹۰ درصد)، کم روی کارا (بالای ۶۰ و زیر ۷۰ درصد) و درنهایت غیر روی کارا (کم‌تر از ۶۰ درصد) می‌باشند. همبستگی شاخص کارایی روی با عملکرد دانه در شرایط عدم محلول‌پاشی روی معنی‌دار نبود. اما همبستگی این شاخص با عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی روی منفی و معنی‌دار شد (جدول ۵).

از لحاظ شاخص حساسیت به تنش و با بهره‌گیری از گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در شاخص MMFV، ۲۴ ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ‌های بسیار متحمل تا نسبتاً متحمل شناخته شدند و در بین ژنوتیپ‌ها، KS-21538 و KS-21551

به‌ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (شکل ۵). در شاخص حساسیت به تنش مقادیر عددی ژنوتیپ‌ها در بازه ۰/۰۲ تا ۱/۸۸ قرار گرفتند. همبستگی شاخص SSI با عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی روی مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما همبستگی این شاخص با عملکرد دانه در شرایط عدم محلول‌پاشی روی معنی‌دار نشد (جدول ۵). براساس شاخص تحمل (همانند سه شاخص قبلی)، ژنوتیپ‌های KS-21538 و KS-21551 به‌ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ بودند (جدول ۶). همبستگی شاخص TOL با عملکرد دانه در شرایط عدم محلول‌پاشی معنی‌دار نشد. اما، با عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی سولفات‌روی دارای همبستگی مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین، همبستگی بالای این شاخص با روی کارایی منفی و معنی‌دار شد (جدول ۵).

جدول ٦. میانگین‌های عملکرد و شاخص‌های تحمل و حساسیت به کمبود در شرایط کمبود و کفایت روی در ژنوتیپ‌های لوبیا

GN	ژنوتیپ‌ها	YS (گرم بر مترمربع)	YP (گرم بر مترمربع)	ZE (درصد)	SSI	MMFV	TOL (گرم بر مترمربع)	STI	MP (گرم بر مترمربع)	GMP (گرم بر مترمربع)
۱۷	KS-21538	۲۶۸/۲۶	۲۷۳/۱۹	۹۹/۶۴	۰/۰۲	۰/۹۹۹	۴/۹۳	۰/۶۳	۲۷۰/۷۲	۲۷۰/۳۸
۲۱	KS-21565	۲۲۳/۴۵	۲۳۹/۱۹	۹۵/۰۵	۰/۲۱	۰/۸۹۲	۱۵/۷۴	۰/۴۶	۲۳۱/۳۲	۲۳۰/۷۹
۱۶	KS-21537	۲۵۴/۰۸	۲۸۷/۱۷	۹۱/۵۶	۰/۳۶	۰/۸۱۱	۳۳/۰۹	۰/۶۳	۲۷۰/۶۳	۲۶۹/۳۸
۶	KBC-22136	۲۵۲/۰۳	۲۸۱/۳	۹۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۷۸۴	۲۹/۲۷	۰/۶۰	۲۶۶/۶۷	۲۶۶/۰۵
۲۴	KS-21571	۳۰۵/۲	۳۴۴/۱۸	۸۹/۹۳	۰/۴۴	۰/۷۷۳	۳۸/۹۸	۰/۸۹	۳۲۴/۶۹	۳۲۳/۶۹
۵	KBC-22127	۲۷۹/۰۵	۳۱۴/۵۶	۸۹/۵۲	۰/۴۵	۰/۷۶۴	۳۵/۵۱	۰/۷۵	۲۹۶/۸۱	۲۹۵/۳۲
۱۱	KS-21492	۳۲۷/۸۵	۳۷۶/۳۳	۸۸/۱۷	۰/۵۱	۰/۷۳۲	۴۸/۴۸	۱/۰۵	۳۵۲/۰۹	۳۵۰/۶۷
۱۵	KS-21529	۳۲۱/۶۶	۳۷۸/۰۸	۸۶/۴۲	۰/۵۹	۰/۶۹۲	۵۶/۴۲	۱/۰۲	۳۴۹/۸۷	۳۴۷/۲۵
۱۳	KS-21517	۲۶۰/۰۳	۳۰۴/۹۱	۸۶/۰۳	۰/۶۱	۰/۶۸۳	۴۴/۸۸	۰/۶۷	۲۸۲/۴۷	۲۸۱/۳۳
۲۳	KS-21567	۳۳۵/۵۲	۳۹۸/۸۵	۸۵/۵۹	۰/۶۳	۰/۶۷۳	۶۳/۳۳	۱/۱۳	۳۶۷/۱۹	۳۶۵/۱۵
۱	COS-16	۲۸۷/۶۴	۳۵۳/۹۴	۸۳/۵۵	۰/۷۱	۰/۶۲۶	۶۶/۳۱	۰/۸۸	۳۲۰/۷۹	۳۱۸/۳۸
۸	KBC-23120	۲۲۸/۸	۲۷۹/۸۳	۸۲/۱۶	۰/۷۷	۰/۵۹۳	۵۱/۰۳	۰/۵۴	۲۵۴/۳۲	۲۵۲/۸۸
۲۹	Ghaffar	۲۱۷/۷۹	۲۶۶/۷۱	۸۱/۷۸	۰/۷۹	۰/۵۸۴	۴۸/۹۲	۰/۴۹	۲۴۲/۲۵	۲۴۰/۹۷
۴	KBC-22125	۲۶۲/۲۳	۳۳۸/۱۳	۸۱/۵۴	۰/۸	۰/۵۷۹	۷۵/۹	۰/۷۷	۳۰۰/۱۸	۲۹۶/۵۷
۹	KS-21214	۲۹۹/۳۴	۳۸۱/۳۷	۸۰/۶۹	۰/۸۴	۰/۵۵۹	۸۲/۰۳	۰/۹۸	۳۴۰/۳۵	۳۳۶/۹۱
۱۲	KS-21500	۲۷۷/۵۱	۳۵۰/۷۷	۷۹/۸	۰/۸۷	۰/۵۳۸	۷۳/۲۶	۰/۸۴	۳۱۴/۱۴	۳۱۱/۶۷
۲	KBC-21136	۲۹۱/۶۱	۳۶۸/۷۵	۷۹/۳۵	۰/۹	۰/۵۲۸	۷۷/۱۴	۰/۹۰	۳۳۰/۱۸	۳۲۷/۷۸
۲۰	KS-21563	۲۹۷/۸۶	۳۷۹/۱۲	۷۸/۶۸	۰/۹۳	۰/۵۱۲	۸۱/۲۶	۰/۹۵	۳۳۸/۴۹	۳۳۵/۹۸
۲۵	KS-21572	۲۳۴/۲۵	۳۲۳/۹۸	۷۷/۵۷	۰/۹۷	۰/۴۸۷	۸۹/۷۳	۰/۶۶	۲۷۹/۱۲	۲۷۲/۹۸
۳	KBC-22103	۲۱۵/۸۳	۲۸۳/۸۹	۷۷/۳۲	۰/۹۸	۰/۴۸۱	۶۸/۰۶	۰/۵۲	۲۴۹/۸۶	۲۴۷/۰۹
۷	KBC-22138	۱۹۷/۲۶	۲۶۲/۳۶	۷۷/۳۲	۰/۹۸	۰/۴۸۱	۶۵/۱	۰/۴۴	۲۲۹/۸۱	۲۲۶/۹۶
۱۰	KS-21383	۳۲۹/۹۸	۴۴۴/۴	۷۵/۹۴	۱/۰۴	۰/۴۴۹	۱۱۴/۴۲	۱/۲۶	۳۸۷/۱۹	۳۸۲/۲۹
۱۹	KS-21562	۳۰۷/۶۴	۴۲۰/۴۶	۷۴/۸۲	۱/۰۹	۰/۴۲۳	۱۱۲/۸۲	۱/۰۸	۳۶۴/۰۵	۳۵۸/۲۲
۲۷	Kosha	۲۰۷/۵۷	۳۰۶/۲۵	۷۱/۰۸	۱/۲۶	۰/۳۳۶	۹۸/۶۸	۰/۵۴	۲۵۶/۹۱	۲۵۰/۸۳
۲۶	Khomein	۲۰۹/۶	۳۲۶/۷۷	۶۸/۷۱	۱/۳۶	۰/۲۸۱	۱۱۷/۱۷	۰/۵۸	۲۶۸/۱۹	۲۵۹/۶۷
۱۴	KS-21526	۲۰۱/۴	۳۲۰/۶۹	۶۸/۶۹	۱/۳۶	۰/۲۸۱	۱۱۹/۲۹	۰/۵۷	۲۶۱/۰۵	۲۵۲/۵۵
۲۸	Sadri	۳۱۳/۱	۵۲۴/۳۷	۶۵/۱۶	۱/۵۱	۰/۱۹۸	۲۱۱/۲۷	۱/۳۹	۴۱۸/۷۳	۴۰۱/۷۰
۲۲	KS-21566	۲۴۲/۹۵	۳۹۸/۵۳	۶۴/۵۱	۱/۵۴	۰/۱۸۳	۱۵۵/۵۸	۰/۸۳	۳۲۰/۷۴	۳۰۹/۸۰
۱۸	KS-21551	۲۴۶/۹۵	۴۶۴/۵۲	۵۶/۵۹	۱/۸۸	۰/۰۰۰	۲۱۷/۵۷	۰/۹۷	۳۵۵/۷۴	۳۳۶/۱۵
	میانگین	۲۶۵/۳۹	۳۴۴/۵۷	۸۰/۲۶	۰/۸۶	۰/۵۵	۷۹/۱۸	۰/۷۹	۳۰۴/۹۸	۳۰۰/۶۷
	LSD (5%)	۳۸/۶۱	۹۸/۰۶	۱۸/۱۸	۰/۷۹	۰/۴۲	۸۱/۹۹	۰/۳۰	۶۲/۲۳	۵۷/۹۷

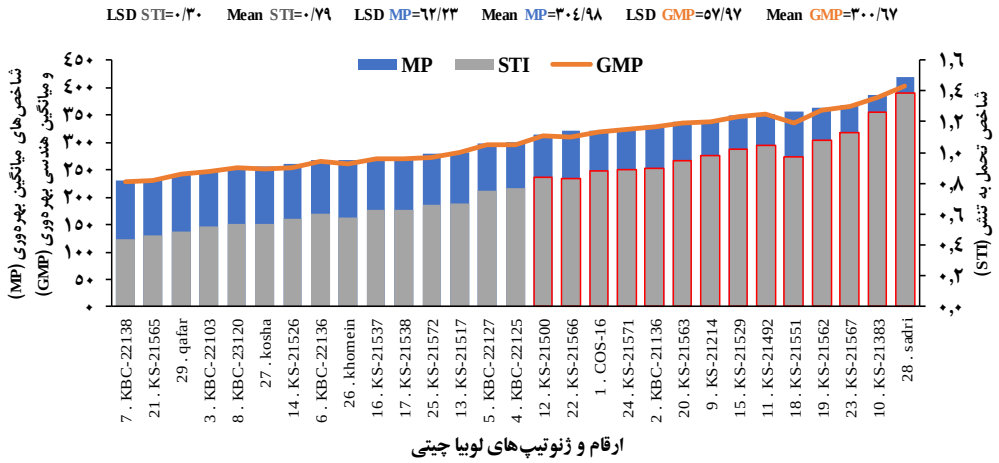
(داده‌ها براساس روی کارایی ژنوتیپ‌ها از زیاد به کم مرتب شده‌اند.)

LSD کم‌ترین تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

GN: شماره ژنوتیپ، YS: عملکرد دانه در شرایط بدون محلول‌پاشی روی، YP: عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی روی، ZE: شاخص کارایی روی، SSI: شاخص حساسیت به تنش، MMFV: شاخص میانگین ارزش تابع عضویت، TOL: شاخص تحمل، STI: شاخص تحمل به تنش، MP: شاخص میانگین بهره‌وری یا متوسط تولید، GMP: شاخص میانگین هندسی تولید.

۴. ۳. ۲. شاخص‌های پتانسیل تولید STI، MP و GMP

نتایج ارائه‌شده در جدول (۵)، حاکی از مثبت‌بودن همبستگی سه شاخص STI، MP و GMP باهم بود و ارزیابی ژنوتیپ‌ها براساس هر یک از این شاخص‌ها نتایج مشابهی داشت (شکل ۴). به‌علاوه، همبستگی هر سه شاخص با عملکرد دانه هم در شرایط عدم محلول‌پاشی روی و هم در شرایط محلول‌پاشی روی مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در این بررسی، دو گروه ژنوتیپ دارای شاخص‌های پتانسیل تولید بالاتر و پایین‌تر از متوسط کل به‌دست آمد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان شاخص‌های تحمل به تنش، متوسط تولید و میانگین هندسی تولید، به‌ترتیب متعلق به رقم صدری و ژنوتیپ KBC-22138 بود (شکل ۴).

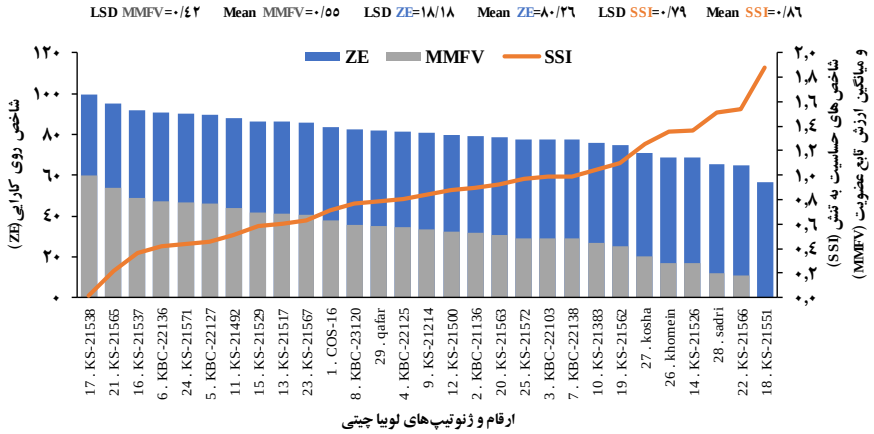


شکل ٤. مقایسه هم‌زمان ارقام و ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی به‌وسیله شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و شاخص تحمل به تنش (STI) و ارزیابی ارتباط سه شاخص با همدیگر (ژنوتیپ‌های دارای شاخص بیش از میانگین کل: دارای خطوط قرمز دور ستون می‌باشند.)

۴. ۴. گروه‌بندی بر مبنای تئوری فرناندز

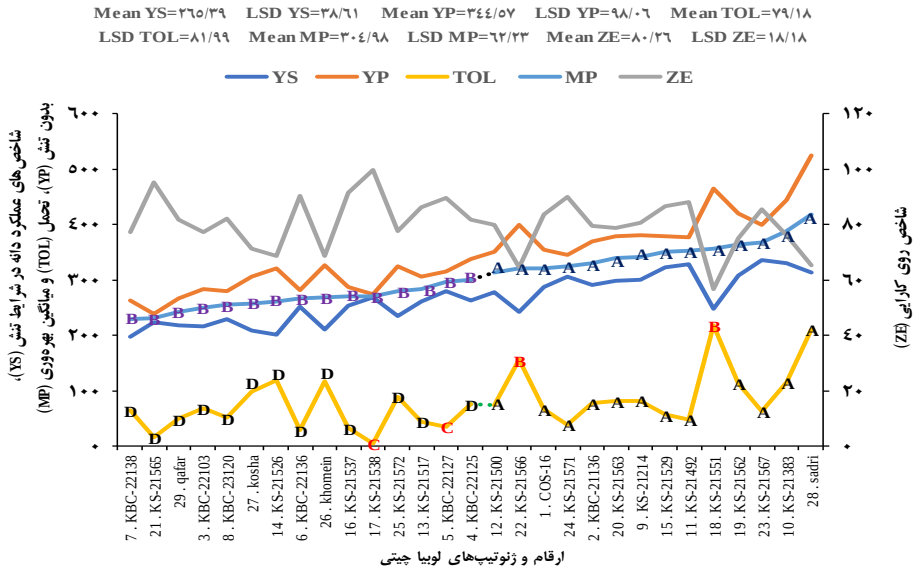
در این آزمایش، گروه‌بندی ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی بر مبنای تئوری فرناندز[1] (۱۹۹۲) با لحاظ نمودن دو شاخص تحمل و میانگین بهره‌وری تولید، هم‌چنین، عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش انجام شد. طبق این نظریه و پاسخ ژنوتیپ‌های ماش به شرایط محیطی با تنش و بدون تنش، آن‌ها را به چهار گروه A: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط از نظر عملکرد برتری نسبی داشته و عملکرد بالایی تولید می‌کنند، گروه B: ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی دارند، گروه C: ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش عملکرد نسبی بالاتری دارند. این گونه ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب عملکرد کم‌تری تولید می‌کنند و گروه D: ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش و بدون تنش عملکرد کمی دارند تقسیم کرد. لذا طبق شاخص فرناندز، ژنوتیپ‌هایی مثل صدری، KS-21383، KS-21567، KS-21562، KS-21492، KS-21529، KS-21214، KS-21563، KBC-21136، KS-21571، COS-16 و KS-21500 در گروه A قرار می‌گیرند (شکل ۶). TOL این‌ها بزرگ‌تر از ۱۵/۷۴ و دارای MP، YP و YS بالاتر از میانگین کل بودند.

1. Fernandez

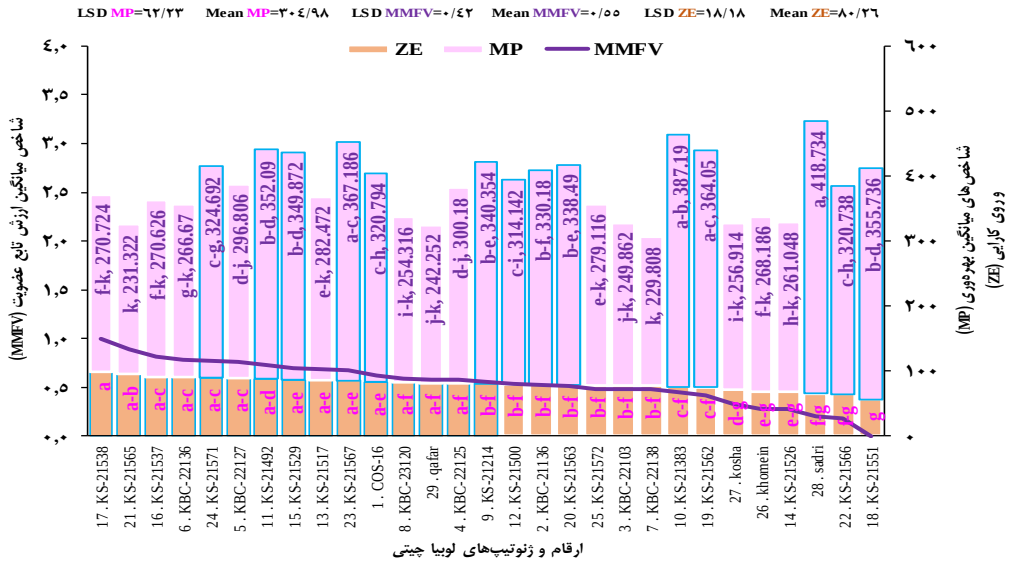


شکل ۵. مقایسه هم‌زمان ارقام و ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی به‌وسیله شاخص‌های روی کارایی (ZE)، حساسیت به تنش (SSI) و میانگین ارزش تابع عضویت (MMFV) و ارزیابی ارتباط سه شاخص با همدیگر

ژنوتیپ‌ها و ارقامی که YS کم‌تر از میانگین اما MP و YP بیش از میانگین و TOL مساوی یا بزرگ‌تر از ۱۵۵/۵۸ داشتند مانند KS-21551 و KS-21566 به گروه B تعلق می‌یابند. ژنوتیپ‌هایی نظیر KS-21538 و KS-221565 که TOL آن‌ها کوچک‌تر یا مساوی ۱۵/۷۴، MP و YP کم‌تر از میانگین ولی YS بیش‌تر از میانگین دارند مختص گروه C هستند. در نهایت ژنوتیپ‌هایی که TOL آن‌ها بزرگ‌تر از ۱۵/۷۴ و کم‌تر از ۱۵۵/۵۸، MP، YS و YP کوچک‌تر از میانگین دارند مشمول گروه D هستند همانند (KBC-22125، KBC-22127، KS-21517، KS-21572، KS-21537، خمین، KBC-22136، KS-21526، کوشا، KBC-23120، KBC-22103، غفار و KBC-22138).



شکل ٦. مقایسه هم‌زمان ارقام و ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی به‌وسیله شاخص‌های تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، روی کارایی (ZE)، عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش (YS & YP) و ارزیابی ارتباط پنج شاخص با همدیگر (دسته‌بندی با شاخص‌های پتانسیل عملکرد (MP): دو بخش عملکردی A و B؛ طبقه‌بندی براساس تئوری فرناندز: چهار گروه A، B، C و D)



شکل ۷. مقایسه مقادیر میانگین شاخص‌های میانگین ارزش تابع عضویت (MMFV)، روی کارایی (ZE) و میانگین بهره‌وری (MP) و ارتباط آن‌ها با یکدیگر در ارقام و ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی (ژنوتیپ‌های دارای شاخص بیش از میانگین ZE و MP؛ دارای خطوط دور ستون می‌باشند).

۵. بحث

پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف به شرایط متفاوت محیطی (کمبود و کوددهی) یکسان نیست. به‌نژادگران معتقدند ارزیابی و گزینش ژنوتیپ‌ها به‌صورت چندبعدی و براساس شاخص‌های مختلف، اشتباه را به حداقل می‌رساند (سنگی و همکاران، ۱۴۰۰). از این‌رو، استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش می‌تواند در شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا و سازگار با شرایط کمبود روی مؤثر باشد. لذا محاسبه شاخص‌های تحمل یا حساسیت، با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تنش و بدون تنش صورت می‌گیرد (فرناندز، ۱۹۹۲). بنابراین، تغییرات عملکرد در گیاهان زراعی، تحت تأثیر عوامل مختلف ژنتیکی، محیطی و اثر متقابل آن‌ها به‌عنوان مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین معیار است.

طبق نتایج جدول (۶)، تغییرپذیری ژنوتیپ‌ها در همه شاخص‌های موردمطالعه قابل‌توجه بود. تفاوت معنی‌دار ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در دو محیط کمبود و محلول‌پاشی سولفات‌روی، بیان‌گر تنوع ژنتیکی زیاد در بین ژنوتیپ‌ها بوده که می‌تواند در بهبود انتخاب و برنامه‌های به‌نژادی اثرگذار باشد. کاربرد روی در ژنوتیپ‌های تحت آزمایش باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. کردی و همکاران (۱۳۹۵) نیز افزایش عملکرد دانه لوبیا با مصرف روی را در پژوهش خود تأیید نمودند. این اضافه‌شدن عملکرد، از اثر مثبت عنصر روی بر فرایندهای متابولیسمی گیاه نظیر بیوسنتز کربوهیدرات‌ها و کارآمدی انواع سیستم‌های آنزیمی ناشی می‌شود (بیات و همکاران، ۱۴۰۱). عنصر روی در ساختار، شکل‌گیری و فعالیت آنزیم‌های کربونیک آنهیدراز، سوپراُکسید دیسموتاز، روبیسکو و متابولیسم اکسین نقش دارد. برآیند این عوامل سبب بهبود فرایندهای متابولیسمی می‌شود که در اثر آن تنش اکسیداتیو کاهش و تثبیت کربن‌دی‌اکسید طی فتوسنتز افزایش می‌یابد. هم‌چنین، تخصیص دو بعدی مواد فتوسنتزی (به اندام‌های رویشی و زایشی)، از تجمع مواد فتوسنتزی در برگ‌های اولیه جلوگیری می‌کند و توسعه اندام‌ها بهبود یافته که خود منجر به افزایش کمی و کیفی عملکرد می‌گردد (عالی‌پور بابادی و همکاران، ۱۴۰۴).

ضریب همبستگی، بیان‌کننده مقدار ارتباط دو شاخص است و لازمه انتخاب موفقیت‌آمیز، وجود اطلاعات دقیق و کامل در

این زمینه می‌باشد (کنیاک[1] و همکاران، ۲۰۲۰). معیارهای تحمل به تنش با محاسبه و بررسی ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط کمبود و کفایت عنصر روی به‌همراه شاخص‌های کمی تحمل طبق نتایج جدول (۵) تعیین گردید.

عدم معنی‌داری همبستگی چهار شاخص کارایی روی، حساسیت به تنش، تحمل و میانگین ارزش تابع عضویت با عملکرد دانه در شرایط بدون محلول‌پاشی حاکی از مؤثرنبودن عملکرد در شرایط تنش بر تغییرات شاخص‌های مذکور بود. اما همبستگی معنی‌دار آن‌ها با عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی روی، نشان می‌دهد نوسانات عملکرد در شرایط فراهمی روی، تعیین‌کننده روی کارایی و سه شاخص دیگر است.

سنگی و همکاران (۱۴۰۰) و شیخ و میرکریمی (۱۴۰۳)، در مطالعات خود به‌ترتیب بر روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دروم و ژنوتیپ‌های باقلا، به نتایج مشابه با پژوهش حاضر در خصوص همبستگی مثبت و معنی‌دار YS و YP با شاخص‌های STI، MP و GMP دست یافتند.

در همه ژنوتیپ‌ها منشأ تغییرات متوسط تولید، YS و YP می‌باشد اما همبستگی YP با MP بیش از YS بود. در تفسیر این موضوع می‌توان بیان نمود عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی روی اثر بیش‌تری بر تغییرات شاخص میانگین بهره‌وری تولید، نسبت به عملکرد دانه در شرایط بدون محلول‌پاشی روی داشته است. در ژنوتیپ‌های متحمل یا روی کارا، اختلاف عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی روی با عملکرد دانه در شرایط بدون محلول‌پاشی روی بسیار اندک است. به‌نظر می‌رسد بالابودن MP در این ژنوتیپ‌ها متأثر از YS بوده، اما در ژنوتیپ‌های حساس به تنش یا غیر روی کارا از YP تأثیر می‌پذیرد. مقادیر اختلاف ژنوتیپ KS-21567 (نسبتا روی‌کارا) نسبت به KS-21551 (غیر روی کارا) در شاخص‌های MP، YS و YP (به‌ترتیب ۱۱/۴۵+، ۸۸/۵۷+ و ۶۵/۶۷–) مؤید این موضوع می‌باشد. به‌عبارت دیگر، اثر YP بر ارتقای MP در ارقام کم روی کاراً بیش از YS می‌باشد. در ژنوتیپ‌هایی که بالابودن میزان MP آن‌ها غالباً تابع YP بود، مقادیر شاخص‌های ZE و MMFV کاهش نشان داد، اما TOL و SSI افزایش یافت (مثل ژنوتیپ ۱۸ KS-21551). احتمالاً به‌دلیل حساسیت بالای این ژنوتیپ‌ها به کمبود روی، افزودن کود روی منجر به واکنش مضاعف و سریع‌تر این ژنوتیپ‌ها شده در نتیجه باعث بالارفتن درصد افزایش عملکرد می‌شود. بنابراین روی کارایی و تحمل به تنش کاهش می‌یابد. این نتیجه مطابق با گزارش بیگی و همکاران (۱۳۹۱ب) می‌باشد که بیان نمودند در ارقام کم روی کارا، درصد افزایش عملکرد دانه بیش‌تر است و برعکس.

ضرایب همبستگی که نزدیک به صفر یا منفی هستند، حاکی از فقدان رابطه بین این شاخص‌ها نبوده و نشان‌دهنده عدم وجود رابطه خطی بین آن‌ها می‌باشد (ماچادو[2] و همکاران، ۲۰۲۴). براساس رابطه‌های ارائه‌شده در جدول (۲) و طبق نتایج حاصل از همبستگی (جدول ۵) می‌توان گفت کاهش تفاضل بین YP و YS (TOL) باعث افزایش مقادیر شاخص‌های ZE، MMFV و کاهش مقدار SSI می‌گردد. به‌عبارت دیگر، روند افزایشی شاخص تحمل، غالباً متأثر از روند کاهشی کارایی روی ژنوتیپ‌ها بود (شکل ۶). ژنوتیپ‌هایی که تحمل بیش‌تری نسبت به سایرین در شرایط کمبود روی دارند، از روی کارایی و میانگین ارزش تابع عضویت بالاتر برخوردار بوده اما دو شاخص حساسیت به تنش و تحمل در آن‌ها پایین‌تر است. به‌طوری‌که در این مطالعه اعداد مؤلفه‌های ذکرشده در متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها (KS-21538) به‌ترتیب نزدیک به ۱۰۰، یک، صفر و چهار شد (جدول ۶). بنابراین همبستگی شاخص TOL با ZE و MMFV منفی و با SSI مثبت شده که دارای مقدار عددی ۰/۹۳۶ و معنی‌دار بود. در نتیجه همبستگی منفی و معکوس، طبق نتایج آزمایش (بیگی و همکاران، ۱۳۹۱ب) در مورد وابستگی درصد افزایش عملکرد دانه با روی کارایی مرتبط می‌باشد. هم‌چنین میزان

1. Konyak
2. Machado

همبستگی شاخص‌های مذکور با همدیگر، بیانگر دقت کم‌تر شاخص TOL در مقایسه با سه شاخص دیگر است. شاخص TOL تفاضل YS با YP بوده اما محاسبه شاخصی مثل ZE براساس درصد می‌باشد، لذا روند تغییرات در شاخص TOL دقیقاً منطبق با روند تغییرات سه شاخص ZE، MMFV و SSI نبود. به‌همین دلیل گروه‌بندی و انتخاب براساس یکی از سه شاخص انجام و به سایر شاخص‌ها تعمیم گردید.

معنی‌دارنبودن همبستگی شاخص‌های گروه دوم با سه شاخص گروه اول و پایین‌بودن آن با شاخص TOL، مبین این است که تغییرات دو گروه به موازات هم نبوده و حاکی از فقدان ارتباط مؤثر بین گروه‌های مذکور می‌باشد. در واقع می‌توان اظهار نمود شاخص‌های تحمل به تنش با شاخص‌های پتانسیل تولید مرتبط نبودند. در شکل (۷) ملاحظه می‌شود ژنوتیپ‌های دارای MP بالاتر و پایین‌تر از میانگین کل، در هر دو ناحیه با روی کارایی کم‌تر و بیش‌تر از متوسط کل وجود دارند. لذا تفریق ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های هر گروه به‌صورت مجزا انجام و در نهایت برتر و بدتر (نامطلوب)بودن هر ژنوتیپ با تلفیق نتایج دو گروه شاخص یادشده، تعیین و سپس معرفی انجام گردید.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، ژنوتیپ‌ها از جنبه شاخص‌های تحمل به تنش، به پنج گروه (شکل ۳) و از بعد شاخص‌های پتانسیل عملکرد به دو گروه عملکردی (شکل ۴) تقسیم شدند.

جهت ارزیابی تحمل به تنش گیاهان، مقدار تابع عضویت (MFV) به‌عنوان یک روش ساده و قابل اعتماد می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد و از این طریق به صرفه‌جویی در زمان موردنیاز برای غربال‌گری کمک نماید (کومروزمان[1] و همکاران، ۲۰۲۲). در رتبه‌بندی براساس شاخص‌های تحمل به تنش که بر پایه میانگین ارزش تابع عضویت صورت گرفت به‌دلیل همبستگی بسیار بالا، نتایج طبقه‌بندی در همه شاخص‌های گروه اول (MMFV، TOL، ZE و SSI) غالباً منطبق و یکسان بود. در نتیجه، پنج گروه ژنوتیپ لوبیا چیتی از بسیار متحمل تا خیلی حساس به تنش، هم‌چنین از بسیار روی کارا تا غیر روی کارا، شناسایی شدند (شکل ۳). نتایج این پژوهش، کارایی تجزیه تابع عضویت را در تفکیک ژنوتیپ‌های مختلف تحت تنش مطابق با مطالعات قبلی تأیید نمود (ژانگ[2] و همکاران، ۲۰۲۱؛ کومروزمان و همکاران، ۲۰۲۲).

بیگی و همکاران (۱۳۹۱ب) اظهار نمودند یکی از روش‌های مناسب برای مقابله با تنش کمبود روی، شناسایی و کاشت ارقام با کارایی روی بالاست. روی کارایی (ZE) شاخصی است که میزان مقاومت یا حساسیت گیاه را نسبت به کمبود روی براساس درصد مشخص می‌نماید. که از تقسیم عملکرد در شرایط کمبود روی به عملکرد در شرایط کفایت روی به‌دست می‌آید (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۴؛ حاجی‌صالح‌اوغلو و همکاران، ۲۰۰۴ب). هرچه میزان این شاخص بالاتر باشد، رقم موردنظر کارایی روی بیش‌تری داشته و به تنش کمبود روی مقاومت بیش‌تری نشان می‌دهد.

فیشر و مورر (۱۹۷۸) برای اندازه‌گیری پایداری عملکرد، شاخص حساسیت به تنش را پیشنهاد نمودند. میزان SSI کم‌تر از یک بیانگر تحمل به تنش است. که ژنوتیپ‌های با SSI کوچک‌تر از یک، متحمل به تنش بودند. لذا بر مبنای این شاخص نیز، متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها پدیدار شدند. موتورامو[3] و راگاوان[4] (۲۰۲۰) نیز در بررسی خود، از شاخص حساسیت به تنش برای ارزیابی تحمل به خشکی برنج استفاده نمودند، و گزارش کردند ارقام دارای SSI بالاتر از یک، حساس به تنش می‌باشند. تولید ارقام متحمل به تنش، یکی از راه‌کارهای مؤثر جهت مقابله با تنش در گیاهان شناخته شده است (ملادینوف[5] و همکاران، ۲۰۲۳).

شاخص تحمل (TOL) به‌عنوان اختلاف عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش تعریف شده است (روزیل و

1. Quamruzzaman
2. Zhang
3. Muthuramu
4. Ragavan
5. Mladenov

هامبلین، ۱۹۸۱). پایین‌بودن شاخص تحمل در ژنوتیپ‌های مختلف یک محصول زراعی، نشان از کاهش حساسیت به تنش دارد. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که دارای کم‌ترین شاخص تحمل بودند بیش‌ترین مقدار مقاومت به تنش کمبود روی را دارند. شاخص تحمل در مطالعه تحمل لاین‌های باقلا توسط شیخ و میرکریمی (۱۴۰۳) مورداستفاده قرار گرفت.

در شناسایی ژنوتیپ‌ها از جنبه پتانسیل عملکرد به‌وسیله شاخص‌های گروه دوم (STI، MP و GMP)، دو دسته ژنوتیپ مشخص شد. اولین و دومین گروه عملکردی شامل ژنوتیپ‌هایی شدند که دارای میانگین بهره‌وری تولید (MP) بالاتر و پایین‌تر از متوسط کل بودند (شکل ۴). به‌طوری‌که شاخص‌های با مقادیر کم‌تر و بیش‌تر از میانگین، به‌ترتیب نامطلوب و مطلوب محسوب شدند. در پژوهش مشابه در گیاه جو نیز، سه شاخص تحمل به تنش، متوسط تولید و میانگین هندسی تولید، به‌عنوان شاخص‌های مناسب معرفی شدند (بهرامی[1] و همکاران، ۲۰۲۱).

در این رده‌بندی، ژنوتیپ‌هایی که به‌صورت هم‌زمان در سه پارامتر YS، YP و MP بالاتر از متوسط کل شدند، از مطلوبیت لازم برای هر دو محیط تنش و بدون تنش (کمبود و کفایت روی) برخوردار بودند (شکل ۶). ژنوتیپ‌های پایین‌تر از متوسط کل در سه مؤلفه مذکور، برای محیط‌های کفایت و کمبود روی، مناسب نبودند. هم‌چنین YS کم‌تر، YP و MP بیش‌تر از متوسط کل، مختص ژنوتیپ‌هایی شد که فاقد مرغوبیت در شرایط کمبود روی بودند اما بالا بودن MP سبب شد جزء اولین گروه باشند. علاوه بر آن، YP و MP پایین‌تر و YS بیش‌تر از متوسط کل، به ژنوتیپ‌هایی تعلق یافت که فقط در محیط تنش دارای عملکرد نسبی بالا بودند و به‌دلیل MP کم‌تر، عضو گروه دوم گردیدند. در دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها و ارقام این پژوهش طبق تئوری فرناندز، ۱۲ ژنوتیپ و رقم متعلق به گروه A، دو ژنوتیپ مربوط به گروه B، دو ژنوتیپ مختص گروه C و ۱۳ رقم و ژنوتیپ عضو گروه D شدند. چهار گروه حاصل به‌ترتیب مطلوب برای هر دو شرایط (کمبود و کفایت روی)، نامطلوب در شرایط کمبود روی، صرفاً مناسب شرایط کفایت روی و درنهایت فاقد برتری در هر دو شرایط بودند. شیخ و میرکریمی (۱۴۰۳) نیز در پژوهش خود براساس فرضیه فرناندز، از میانگین عملکرد دانه در محیط تنش و بدون تنش به‌همراه شاخص متوسط تولید، برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های باقلا استفاده نموده و آن‌ها را در چهار گروه مختلف قرار دادند.

ژنوتیپ‌های با MP، YS بالا و ZE متفاوت نظیر رقم کم روی کارای صدری و ژنوتیپ نسبتاً روی کارای KS-21571، مستعد هر دو شرایط کمبود و کفایت روی بودند. اما در بین آن‌ها ژنوتیپی همانند KS-21567 علاوه بر داشتن ZE و MP بالا، بیش‌ترین YS را در میان ژنوتیپ‌ها داشت که می‌تواند به‌عنوان برترین ژنوتیپ در شرایط کمبود روی نیز معرفی گردد. این قبیل ژنوتیپ‌ها، مختص گروه A در رتبه‌بندی فرناندز بودند. ژنوتیپ‌هایی مثل KS-21551 که روی کارایی‌شان پایین و در عین‌حال MP بالا و YS کمی دارند، در شرایط کفایت روی، قادر به حفظ پتانسیل تولید خود می‌باشند. پاسخ این‌ها به افزودن کود نسبت به ژنوتیپ‌های روی کارا بیش‌تر بوده و جزو رده B در طبقه‌بندی فرناندز می‌باشند. بنابراین، در شرایطی که امکان تأمین و مصرف کود فراهم باشد این ژنوتیپ‌ها مطلوب خواهند بود. عکس این قضیه نیز صادق می‌باشد. چنانچه ژنوتیپ‌هایی دارای MP پایین، YS و روی کارایی بالایی باشند، در شرایط کمبود روی قادر به حفظ پتانسیل تولید خود می‌باشند اما به‌دلیل پایین بودن MP، تولیدشان کم‌تر خواهد بود. بنابراین نمی‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب معرفی شوند، مانند ژنوتیپ ۵ و ۱۷ (KBC-22127 و KS-21538) که به طبقه C گروه‌بندی فرناندز تعلق دارند. سرانجام، ژنوتیپ‌هایی که ذاتاً پتانسیل عملکردشان اندک و MP و YS کمی داشتند، اما ZE آن‌ها متنوع بود، نامناسب برای هر دو شرایط تنش و بدون تنش (کمبود و کفایت روی) بودند. این‌گونه ژنوتیپ‌ها در رتبه D فرناندز قرار گرفتند.

مشابه با این پژوهش، نتایجی از مقایسه ژنوتیپ‌های گندم، هم‌چنین شناسایی و تفکیک ارقام مختلف لوبیا با استفاده از شاخص روی کارایی به‌ترتیب توسط (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۴) و (بیگی و همکاران، ۱۳۹۱ب) گزارش شده است. بهره‌برداری

1. Bahrami

از شاخص متوسط تولید در این آزمایش، مطابق با پژوهش‌های همسو می‌باشد، به‌طوری‌که امین‌زاده و همکاران (۱۴۰۳) در ارزیابی تحمل ۳۸ ژنوتیپ کلزا به تنش خشکی از این شاخص استفاده نمودند. در غربال ارقام مختلف گندم بهاره از لحاظ تحمل به کمبود روی نیز، شاخص MP دارای نقش مؤثر بود (خوشگفتارمنش و همکاران، ۱۳۹۰).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به افزایش تقاضا در سال‌های اخیر، کشاورزی در مناطق کم‌بازده گسترش می‌یابد. از اینرو شناخت راه‌کارهای مقابله با تنش‌های زیستی و غیر زیستی، مستلزم اجرای طرح‌های پژوهشی همسو می‌باشد. پژوهش حاضر در این راستا می‌تواند راه‌گشا باشد. بنابراین به‌کمک هفت شاخص گزینش در شرایط تنش علی‌الخصوص شاخص‌های مقدار تابع عضویت (MFV)، روی کارایی (ZE) و متوسط تولید (MP)، ژنوتیپ‌های KS-21492، KS-21567 و KS-21529 هم به‌عنوان ژنوتیپ با پتانسیل تولید زیاد و هم دارای کارایی روی نسبتاً بالا برای شرایط کمبود روی حائز اهمیت بوده و برای بررسی مجدد در مزرعه معرفی می‌شوند. با نگرش به بیش‌ترین مقدار شاخص MP در بین ارقام و ژنوتیپ‌های موردمطالعه، رقم صدری نیز می‌تواند جهت مقایسه به این پیشنهاد اضافه گردد.

۷. تشکر و قدردانی

از آقای دکتر محمد امیردلاور به‌خاطر فراهم‌نمودن زمینه، جهت اجرای این پروژه در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان و از خانم دکتر سیده سودابه شبیری به‌خاطر تأمین بخشی از بذور ژنوتیپ‌های موردمطالعه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

امین‌زاده، بهروز؛ ثانی، بهزاد؛ علیزاده، بهرام و مظفری، حمید (۱۴۰۳). بررسی و ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در ۳۸ ژنوتیپ کلزای زمستانه براساس روش بای‌پلات، تجزیه کلاستر و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی. *مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی و هجدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات*، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

بیات، سجاد؛ اسفندیاری، عزت‌اله؛ کریمی، اسماعیل و اسدی، علی‌اکبر (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد برگی روی بر عملکرد کمی و کیفی لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.). *مجموعه مقالات سومین کنگره بین‌المللی و هفدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات*، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

بیات، سجاد و اسفندیاری، عزت‌اله (۱۴۰۳). تأثیر مراحل محلول‌پاشی روی بر عملکرد و غلظت عناصر آهن و روی دانه لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.). *مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی و هجدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات*، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

بیگی، محسن؛ ثواقبی، غلامرضا و متشرع‌زاده، بابک (۱۳۹۱ آ). بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) به کمبود روی در شرایط گلخانه. *مجله علوم گیاهان زراعی*، ۴۳(۳)، ۴۶۱-۴۶۸.

بیگی، محسن؛ ثواقبی، غلامرضا و متشرع‌زاده، بابک (۱۳۹۱ ب). بررسی کارایی روی در ارقام مختلف لوبیای چیتی. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۶(۱)، ۳۳-۴۱.

وزارت جهاد کشاورزی، (۱۴۰۲). آمار و اطلاعات تولید و سطح زیر کشت محصولات زراعی کشور و استان زنجان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹.

جمشیدی، مرتضی؛ دانش‌شهرکی، عبدالرزاق و هاشمی‌جزی، سیدمجتبی (۱۳۹۵). اثر محلول‌پاشی عناصر منگنز و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت شرایط خشکی. *نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران*، *۷*(۲)، ۱۷۴-۱۶۴.

حسینی، فاطمه؛ موسوی، سیدسعید و عبداللهی، محمدرضا (۱۴۰۳). ارزیابی رابطه بین عملکرد دانه و تغییرات صفات ریشه‌ای در گندم دیپلوئید (*Aegilops tauschii*) تحت شرایط تنش خشکی. *مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی و هجدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات*، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

خوشگفتارمنش، امیرحسین؛ رضی‌زاده، الهام‌السادات؛ عشقی‌زاده، حمیدرضا؛ ثواقبی، غلامرضا؛ صدرارحامی، آزاده و افیونی، داوود (۱۳۹۰). غربال ارقام مختلف گندم بهاره از لحاظ تحمل به کمبود روی با استفاده از شاخص‌های مختلف تنش. *نشریه آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی)*، *۲۵*(۲)، ۲۹۵-۲۸۷.

رزمی، نسرین؛ هزارجریبی، ابراهیم و اندرخور، عباسعلی (۱۴۰۱). انتخاب ژنوتیپ‌های برتر سویا با استفاده از برخی روش‌های چندمتغیره آماری در شرایط آب و هوایی مغان. *پژوهش‌های ژنتیک گیاهی*، ۹(۲)، ۴۱-۵۴.

سنگی، سید احسان؛ نجفی، عبداله؛ چقامیرزا، کیانوش و محمدی، رضا (۱۴۰۰). ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum durum* L.). *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، *۱۴*(۴)، ۹۰۱-۹۱۱.

سهیلی‌موحد، سمیه؛ اسماعیلی، محمدعلی؛ جباری، فرهاد و فولادی، عقیل (۱۳۹۶). ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد برخی ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط محدودیت آب انتهای فصل. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۹(۲)، ۴۳۳-۴۴۴.

شیخ، فاطمه و میرکریمی، اعظم (۱۴۰۳). ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.). *مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی و هجدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات*، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

عالی‌پور بابادی، مینا؛ نوروزی‌مصیر، مجتبی؛ معزی، عبدالامیر؛ راهنما قهفرخی، افراسیاب و تقوی‌زاهدکلائی، مهدی (۱۴۰۴). تأثیر پرایمینگ آمینوکلات‌روی و کود سولفات‌روی بر شکل‌های شیمیایی روی در فاز محلول خاک و همبستگی آن با غلظت روی در آفتابگردان. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۶(۵)، ۱۳۷۹-۱۳۹۹.

فلاح، سحر؛ عزیزی، خسرو؛ عیسوند، حمیدرضا؛ اکبرپور، امید و اکبری، ناصر (۱۴۰۱). تأثیر محلول‌پاشی با کلات‌روی بر خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد لوبیا قرمز رقم افق (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تغییرات دما- دی‌اکسیدکربن و تنش رطوبتی. *مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، *۱۵*(۳)، ۶۴۱-۶۵۶.

کاویان‌اطهر، نسرین و ابوطالبیان، محمدعلی (۱۳۹۹). واکنش کمی و کیفی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) به شیوه کاربرد کودهای فسفر و سولفات‌روی در مقادیر مختلف کود نیتروژن آغازگر. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۱(۳)، ۱۷-۳۲.

کردی، سجاد؛ میرصفری، منیره؛ طهماسبی، زهرا؛ شاه‌کرمی، قدرت‌الله؛ گرامی، لطفعلی؛ تقی‌زاده، امیرعباس و قنبری، فردین (۱۳۹۵). اثر محلول‌پاشی روی بر عملکرد و پروتئین دانه و کاه لوبیا تحت تنش کم آبی در شرایط آب‌وهوایی ایلام. *نشریه زراعت*، ۱۱۱، ۱۱۵-۱۲۴.

کرمی، پریسا؛ مندنی، فرزاد و قبادی، روژین (۱۴۰۳). تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر فنولوژی، عملکرد دانه و اجزای آن و برخی خصوصیات فیزیولوژیک هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.) تحت شرایط آب‌وهوایی کرمانشاه. *نشریه به‌زراعی کشاورزی*، *۲۷*(۱)، ۱-۱۸.

کشاورز، پیمان؛ فروهر، مجید و دادیور، مسعود (۱۳۹۴). بررسی کارایی مصرف روی در برخی ژنوتیپ‌های گندم و مقایسه کودپذیری آن‌ها. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۹(۶)، ۱۷۱۱-۱۷۲۰.

References

Alipour Babadi, M., Norouzi Masir, M., Moezzi, A., Rahnama Ghahfarokhi, A., & Taghavi Zahedkolaei, M. (2025). The effect of priming application of zinc aminochelate and ZnSO4 fertilizer on the chemical forms of zinc in the soil solution phase and its correlation with zinc concentration in sunflower. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *56*(5), 1379-1399. (In Persian).

Aminzadeh, B., Sani, B., Alizadeh, B., & Mozaffari, H. (2024). Study and evaluation of rapeseed genotype based on drought tolerance index, biplots and analysis cluster. Proceedings of the *18th Iranian National & 4th International Crop Sciences Congress*, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).

Bahrami, F., Arzani, A., & Rahimmalek, M. (2021). Tolerance to high temperature at reproductive stage: Trade-offs between phenology, grain yield and yield-related traits in wild and cultivated barleys. *Plant Breeding*, *140*(5), 812-826.

Bandeira, M., Giovanela, M., Roesch-Ely, M., Devine, D. M., & da Silva Crespo, J. (2020). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: A review of the synthesis methodology and mechanism of formation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 15, 100223.

Bayat, S.; Esfandiari, E. A.; Karimi, E., & Asadi, A. A. (2022). The effect of foliar application of zinc on the quantitative and qualitative yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Proceedings of the *17th Iranian National & 3th International Crop Sciences Congress*, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. (In Persian).

Bayat, S., & Esfandiari, E. A. (2024). The effect of zinc foliar application stages on the yield and concentration of iron and zinc elements in pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. Proceedings of the *18th Iranian National & 4th International Crop Sciences Congress*, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).

Beigi, M., Sawaqebi, G. R., & Motsharea-Zadeh, B. (2012a). Study of the response of various Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to zinc deficiency under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *43*(3), 461-468. (In Persian).

Beigi, M., Sawaqebi, G. R., & Motsharea-Zadeh, B. (2012b). Study of Zinc Efficiency in Selected Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*, *26*(1), 33-41. (In Persian).

El-Sayed, M., Desoky, M., Ali, M. A., Mohamed, I., Abdul-Hamid, H., & Ahmed Attia, A. D. (2021). Identifying droughttolerant genotypes of faba bean and their agro-physiological responses to different water regimes in an arid Mediterranean environment, *Agricultural Water Management*, *Volume 247*(106733), 1-11. article id. 106754.

Fallah, S., Azizi, Kh., Eisvand, H. R., Akbarpour, O., & Akbari, N. (2014). The effect of foliar spraying with zinc chelate on morphological characteristics and yield of red bean cultivar Ofogh (*Phaseolus vulgaris* L.) under temperature changes-carbon dioxide and stress moisture. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(3), 641-656. (In Persian).

Feller, C., Bleiholder, H., Buhr, L., Hack, H., Hess, M., Klose, R., Meier, U., Stauss, R., van den Boom, T., & Weber, E. (1995b). Phänologische Entwicklungsstadien von Gemüsepflanzen: II. Fruchtgemüse und Hülsenfrüchte. Nachrichtenbl. Deut. *Pflanzenschutzd*. *47*, 217-232.

Fernandez, G. C. I. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.C. (Ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, *Tainan, Taiwan*, 257-270.

Fischer, R. A., & Mourer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivar. I: grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.

Galindo, F.S., Bellotte, J.L., Santini, J.M., Buzetti, S., Rosa, P.A., Jalal, A., & Teixeira Filho, M.C. (2021). Zinc use efficiency of maize-wheat cropping after inoculation with Azospirillum brasilense. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *120*, 205-221.

Gyanagoudar, H. S., Hatiya, S. T., Guhey, A., Dharmappa, P. M., & Seetharamaiah, S. K. (2024). A comprehensive approach for evaluating salinity stress tolerance in brinjal (*Solanum melongena* L.) germplasm using membership function value. *Physiologia Plantarum*, *176*(2), e14239.

Hacisalihoglu, G., Ozturk, L., Cakmak, I., Welch, R. M., & Kochian, L. V. (2004b). Genotypic variation in common bean in response to zinc deficiency in calcareous soil. *Plant and Soil*, *259*(1-2), 71.83.

Hoseini, F., Mosavi, S. S., & Abdollahi, M. R. (2024). Evaluation of the relationship between grain yield and changes in root traits in diploid wheat (*Aegilops tauschii*) under drought stress conditions. Proceedings of the *18th Iranian National & 4th International Crop Sciences Congress*, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Jamshidi, M., Danesh-Shahraki, A. R., & Hashemi-Jazi, S. M. (2016). Effect of foliar application of Manganese and Zinc on grain yield and yield components of Red Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in drought conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *7*(2), 164-174. (In Persian).

Karami, P., Mondani, F., & Ghobadi, R. (2025). The Effect of Different Irrigation Levels on Phenology, Grain Yield and Their Components and Some Physiological Traits of Different Corn (*Zea mays* L.) Hybrids under Climatic Conditions of Kermanshah. *Journal of Crops Improvement*, *27*(1), 1-18. (In Persian).

Kavian-Athar, N., & Aboutalebian, M. A. (2020). Quantitative and qualitative reaction of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to phosphorous and zinc sulfate application method under different rates of nitrogen starter fertilizer. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *51*(3), 17-32. (In Persian).

Keshavarz, P., Forouhar, M., & Dadivar, M. (2016). Investigation of Zn Use Efficiency and Zn Fertilization Efficiency in Some Genotypes of Wheat. *Journal of Water and Soil*, *29*(6), 1711-1720. (In Persian).

Khan, S.T., Malik, A., Alwarthan, A., & Shaik, M.R. (2022). The enormity of the zinc deficiency problem and available solutions; an overview. *Arabian Journal of Chemistry*, *15*, 103668.

Khoshgoftarmanesh, A. H., Razizadeh, A. A., Eshghizadeh, H. R., Sawaqabi, G. R., Sadrarhami, A., & Efioni, D. (2011). Screening of different varieties of spring wheat in terms of tolerance to zinc deficiency using different stress indices. *Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries) Magazine*, *25*(2), 287-295. (In Persian).

Konyak, W., Kanaujia, S., Jha, A., Chaturvedi, H., & Ananda, A. (2020). Genetic Variability, Correlation and Path Coefficient Analysis of Brinjal. *SAARC Journal of Agriculture*, *18*(1),13-21.

Kordi, S., Mirsafari, M., Tahmasebi, Z., Shahkarami, Gh., Gerami, L., Taghizadeh, A. A., & Ghanbari, F. (2016). Effect of Foliar Application of Zinc on yield, grain and straw protein of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit stress in Ilam weather conditions. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*, *111*, 115-124. (In Persian).

Machado, B.Q.V., Nogueira, A.P.O., Hamawaki, O.T., Rezende, G.F., Jorge, G.L., Silveira, I.C., Medeiros, L.A., Hamawaki, R.L., & Hamawak, C.D.L. (2017). Phenotypic and genotypic correlations between soybean agronomic traits and path analysis. *Genetics and Molecular Research*, 16(2).

Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Limited. London, UK. pp. 347-364.

Mladenov, P., Aziz, S., Topalova, E., Renaut, J., Planchon, S., Raina, A., & Tomlekova, N. (2023). Physiological Responses of Common Bean Genotypes to Drought Stress. *Agronomy*, *13*, 1022, 1-14.

Mortvedt, J. J. (2000).*Bioavailability of Micronutrients. In: M. Sumner(ed)*. Handbook of soil science. CRC press LLC.

Muthuramu, S., & Ragavan, T. (2020). Studies on indices and morphological traits for drought tolerance in rainfed rice Oryza sativa L. *Electronic Journal of Plant Breeding*, *11*, 54-71.

Passerini, A., Andreini, C., Menchetti, S., Rosato, A., & Frasconi, P. (2007). Predicting zinc binding at the proteome level. *BMC Bioinformatics*, *8*, 1-13.

Quamruzzaman, M., Manik, S. N., Livermore, M., Johnson, P., Zhou, M., & Shabala, S. (2022). Multidimensional screening and evaluation of morpho-physiological indices for salinity stress tolerance in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *208*(4), 454-471.

Razmi, N., Hezarjaribi, E., & Andarkhor, A. A. (2023). Selection of Superior Soybean Genotypes Using some Statistical Multivariate Methods in Moghan Climate Conditions. *Plant Genetic Researches*, *9*(2), 41-54. (In Persian).

Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoritical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, *21*, 943-946.

Sangi, S. E., Najaphy, A., Cheghamirza, K., & Mohammadi, R. (2022). Assessment of drought tolerance indices in durum wheat (*Triticum durum* L.) genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(4), 901-911. (In Persian).

Sheikh, F., & Mirkarimi, A. (2024). Assessment of drought tolerance indices for faba bean (*Vicia faba* L.) Genotypes. Proceedings of the *18th Iranian National & 4th International Crop Sciences Congress*, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).

Shu, N., Zhou, T., & Hovmoller, S. (2008). Prediction of zinc-binding sites in proteins from sequence. *BMC Bioinformatics*, *24*, 775-782.

Soheili-movahhed, S., Esmaeili, M. A., Jabbari, F., & Fouladi, A. (2017). Evaluation of yield and yield Components of some pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under late season water deficit conditions. *Journal of Agroecology*, *9*(2), 433-444. (In Persian).

Tabesh, M., Kiani, S., & Khoshgoftarmanesh, A. H. (2020). The effectiveness of seed priming and foliar application of zinc- amino acid chelates in comparison with zinc sulfate on yield and grain nutritional quality of common bean. *Journal of Plant Nutrition*, *43*(14), 2106-2116.

Wang, J., Mao, H., Zhao, H., Huang, D., & Wang, Z. (2012). Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. *Field Crops Research*, *135*, 89-96.

Zhang, R., Hussain, S., Wang, Y., Liu, Y., Li, Q., Chen, Y., & Dai, Q. (2021). Comprehensive evaluation of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) germplasm at the germination stage. *Agronomy*, *11*(8), 1569.