



Effect of microfertilizer application on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) Ali Kazemi Landrace in Guilan Province

Ali Yousefi Ghaleh-Roodkhani¹ & Seyed MohammadReza Ehteshami²

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

² Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran and Associate Professor, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

Corresponding author. E-mail: smrehteshami@ut.ac.ir

ABSTRACT

Introduction: One of the solutions to improve food security for the world's growing population is to increase the amount of production per unit area. The most important factor related to crop production is proper plant nutrition, which plays a significant role in increasing yield. Silicon and zinc, among the nutrients, play a key role in increasing growth and improving the quantitative and qualitative yield of crops, especially rice.

Materials and methods: This study aimed to investigate the effect of micro-fertilizers on quantitative and qualitative traits of rice (*Oryza sativa* L.) Ali Kazemi Landrace in Qale Rudkhan village, Fouman county, Guilan province, in 1401. The experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications. The treatments studied included 16 treatment combinations of various micro-fertilizers in the form of foliar spraying and soil application. At the end of the experiment, yield components, paddy yield, biological yield, and harvest index were evaluated.

Results: The results showed the effect of zinc and silicon fertilizers on all studied traits was significant at the 1% probability level. The soil application of powdered silicate as fertilizer showed the highest spike length. Fertilizers containing zinc and silica also reduced the number of empty grains per spike. Application of fertilizer treatments improved the number of fertile tillers, number of filled grains, 1000-grain weight, paddy yield, biological yield, and harvest index compared to the control. Paddy yield in treatments T₂ (soil application of zinc sulfate), T₁₀ (soil application of powdered silicate along with spraying of fertilizer containing silica), T₁₃ (soil application of zinc sulfate and powdered silicate along with spraying of fertilizer containing silica) and T₁₆ (spraying and soil application of two types of fertilizers) were higher than other treatments and control. They were placed in the same statistical group. In treatments T₂ (soil application of zinc sulfate), T₁₀ (soil application of powdered silicate along with spraying of fertilizer containing silica) and T₁₆ (spraying and soil application of two types of fertilizers) also showed higher biological yield. The harvest index in treatment T₁₆ (spraying and soil application of two types of fertilizers) was the highest.

Conclusion: Treatments of T₂ (soil application of zinc sulfate), T₁₀ (soil application of powdered silicate along with foliar application of fertilizer containing silicon) and T₁₆ (solution spraying and application of zinc and silicon fertilizer in soil) showed the highest 1000-grain weight, paddy yield and biological yield. Therefore, the use of zinc and silicon fertilizers was able to increase the yield components and grain yield of Ali Kazemi's landrace. Low levels of micronutrients in cereals and reduced dietary diversity led to malnutrition, which this is one of the current problems of the country. Therefore, considering the effect of silicon and zinc elements on the quantity and quality of rice grain and their ability to modulate the effects of biotic and abiotic stresses, their optimal use seems essential.

Keywords: Harvest index; Rice; Silicon; Yield; Zinc.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 12 Sep 2025, Revised: 21 Oct 2025, Accepted: 11 Dec 2025, Published online: 26 Dec 2025

Cite this article: Yousefi Ghaleh-Roodkhani, A. & Ehteshami, S. M. R. (2025). Effect of microfertilizer application on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) Ali Kazemi Landrace in Guilan Province. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 4(4), 548-567. DOI: [10.22126/cbb.2026.13755.1137](https://doi.org/10.22126/cbb.2026.13755.1137)



© The Author(s).
[10.22126/cbb.2026.13755.1137](https://doi.org/10.22126/cbb.2026.13755.1137)

Publisher: Razi University



بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات

شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳



بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات

Homepage: <https://cbb.razi.ac.ir>

اثر مصرف کودهای میکرو بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) توده بومی علی کاظمی در استان گیلان

علی یوسفی قلعه‌رودخانی^۱ و سید محمدرضا احتشامی^۲✉

^۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

^۲ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

✉ نویسنده مسئول. رایانامه: smrehteshami@ut.ac.ir

چکیده

مقدمه: یکی از راهکارهای بهبود امنیت غذایی جمعیت رو به افزایش جهان، افزایش مقدار تولید در واحد سطح می‌باشد. مهم‌ترین عامل مرتبط با تولید محصول، تغذیه صحیح گیاهان است که نقش به‌سزایی در افزایش عملکرد دارد. سیلیسیم و روی در بین عناصر غذایی نقش کلیدی در افزایش رشد و بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی بخصوص برنج دارند.

مواد و روش‌ها: این پژوهش با هدف بررسی اثر کودهای میکرو بر صفات کمی و کیفی برنج توده بومی علی کاظمی در روستای قلعه رودخان شهرستان فومن در استان گیلان در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل ۱۶ ترکیب تیماری از انواع کودهای میکرو به صورت محلول‌پاشی و کاربرد در خاک بود. در پایان آزمایش، اجزای عملکرد، عملکرد شلتوک، عملکرد زیستی و شاخص برداشت بررسی شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد اثر کودهای روی و سیلیسیم بر تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. کاربرد سیلیکات پودری به‌صورت خاک کاربرد بیش‌ترین طول خوشه را نشان داد. کودهای حاوی روی و سیلیس همچنین تعداد دانه پوک در خوشه را کاهش دادند. کاربرد تیمارهای کودی تعداد پنجه بارور، تعداد دانه پر، وزن هزاردانه، عملکرد شلتوک، عملکرد زیستی و شاخص برداشت را در مقایسه با شاهد بهبود دادند. عملکرد شلتوک در تیمارهای T2 (کاربرد سولفات روی در خاک)، T10 (کاربرد سیلیکات پودری در خاک همراه با محلول‌پاشی کود حاوی سیلیس)، T13 (کاربرد سولفات روی و سیلیکات پودری در خاک همراه با محلول‌پاشی کود حاوی سیلیس) و T16 (محلول‌پاشی و مصرف خاک‌پاش دو نوع کود) بالاتر از دیگر تیمارها و شاهد بوده و در یک گروه آماری قرار گرفتند. در تیمارهای T2 (کاربرد سولفات روی در خاک)، T10 (کاربرد سیلیکات پودری در خاک همراه با محلول‌پاشی کود حاوی سیلیس) و T16 (محلول‌پاشی و مصرف خاک‌پاش دو نوع کود) نیز عملکرد زیستی بالاتری را نیز نشان دادند. شاخص برداشت در تیمار T16 (محلول‌پاشی و مصرف خاک‌پاش دو نوع کود) بالا بود.

نتیجه‌گیری: تیمارهای T2 (کاربرد سولفات روی به‌صورت خاک‌پاش)، T10 (کاربرد سیلیکات پودری به‌صورت خاک‌پاش همراه با محلول‌پاشی کود حاوی سیلیس) و T16 (محلول‌پاشی و مصرف خاک‌پاش کود روی و سیلیسیم) بالاترین وزن هزاردانه، عملکرد شلتوک و عملکرد زیستی را نشان دادند. بنابراین مصرف کودهای روی و سیلیسیم توانست سبب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج توده بومی علی کاظمی شود. پایین بودن میزان عناصر کم‌مصرف در غلات و کاهش تنوع غذایی منجر به بروز سوء تغذیه می‌گردد که این امر یکی از مشکلات کنونی کشور است. لذا با توجه به اثر عناصر سیلیسیم و روی بر کمیت و کیفیت دانه برنج و توانایی تعدیل اثرات ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی، استفاده بهینه از آن، ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: برنج، روی، سیلیسیم، شاخص برداشت، عملکرد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۱ **اصلاح:** ۱۴۰۴/۰۷/۲۹ **پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۹/۲۰ **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۴/۱۰/۰۵

استناد: یوسفی قلعه‌رودخانی، ع. و احتشامی، س. م. ر. (۱۴۰۴). اثر مصرف کودهای میکرو بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) توده بومی علی

کاظمی در استان گیلان. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۴(۴)، ۵۶۷-۵۴۸. DOI: [10.22126/cbb.2026.13755.1137](https://doi.org/10.22126/cbb.2026.13755.1137)



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از گیاهان مهم تیره غلات، در سرتاسر دنیا مصرف می‌شود (Choi et al., 2015). با توجه به روند رو به افزایش جمعیت جهان، طبق آمارهای سازمان خواروبار جهانی (فائو) تا سال ۲۰۳۰ به ۵۵۰ میلیون تن برنج نیاز خواهد بود تا بتوان میزان تقاضای جمعیت جهان را به این منبع مهم غذایی تأمین نمود. این در حالی است که بیشتر شالیزارهای موجود مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند و به دلیل گسترش صنعت و شهرنشینی، امکان افزایش سطح زیر کشت وجود ندارد (FAO, 2023). مدیریت عناصر غذایی یکی از بخش‌های اصلی نظام مدیریت و تولید پایدار اقتصادی گیاهان زراعی و باغی است. آگاهی از وضعیت عناصر غذایی در تمام مراحل رشد گیاه و توانایی خاک در نگهداری و عرضه عناصر غذایی برای تولید پایدار محصولات و حفظ بهره‌وری طولانی مدت خاک بسیار مهم است (Behera et al., 2026). سیلیسیم و روی نقش مهمی در بهبود تغذیه گیاه و افزایش رشد برنج دارند، به گونه‌ای که کمبود این عناصر سبب کاهش رشد و متعاقب آن، کاهش عملکرد می‌گردد (Ramarao et al., 2026). افزایش عملکرد دانه برنج با مصرف عناصر سیلیسیم و روی را می‌توان به فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، بهبود فرآیند جذب و انتقال عناصر به اندام‌های هوایی و دانه نسبت داد (Kheyri et al., 2019). سیلیسیم نقشی مؤثر در عملکرد دانه برنج یعنی تعداد دانه بالا و اندازه بزرگ دانه دارد. کاربرد سیلیسیم طی رشد زایشی و در

مرحله گلدهی برنج بیشترین تأثیر را در افزایش وزن هزار دانه، تعداد سنبله و عملکرد دانه دارد (Lavinsky et al., 2016). از طرف دیگر، برنج رشد یافته تحت شرایط غرقاب به دلیل کاهش پتانسیل احیاء و عدم تحرک روی در شرایط بی‌هوازی خاک، قابلیت دسترسی کمتری به جذب روی دارد (Tuyogon et al., 2016). بنابراین کمبود روی، یکی از عوامل محدودکننده تولید برنج در سراسر دنیا است که بر سلامت انسان‌ها تأثیر می‌گذارد (Rehman et al., 2012). در واقع کاهش غلظت روی در دانه، سبب کاهش فراهمی زیستی آن در انسان نیز شده و ممکن است به کمبود روی در جمعیت‌های حساس انسانی منجر شود. کاربرد کود روی، یک استراتژی کلی برای مقابله با کمبود آن در خاک بوده و علاوه بر افزایش عملکرد دانه، به افزایش غلظت روی در دانه نیز می‌انجامد (Hussain et al., 2012). البته محلول‌پاشی روی سبب بهبود کارایی مصرف روی در برنج می‌شود (Rehman et al., 2012). عبدلی و همکاران (Abdoli et al., 2016) نیز افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، زیست توده و تعداد دانه در سنبله گندم را با محلول‌پاشی برگی عنصر روی در مراحل ساقه‌دهی و آغاز پر شدن دانه گزارش دادند. نتایج مطالعه جوکار و همکاران (Joukar et al., 2016) نشان داد که زمان محلول‌پاشی برگی عناصر غذایی اثر معنی‌داری بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی دانه برنج رقم طارم ندارد. افزایش جذب روی و بهبود عملکرد دانه با مصرف روی در مطالعات تویوگان و همکاران (Tuyogon et al., 2016) نیز اثبات شده است. شیخ‌زاده

و همکاران (Sheykhzadeh *et al.*, 2021) نشان دادند حداکثر عملکرد دانه برنج با محلول پاشی نانو اکسید سیلیسیم (۷۷۳۳ کیلوگرم در هکتار) و نانو اکسید روی (۷۴۹۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. آن‌ها گزارش دادند بیشترین غلظت سیلیسیم و روی دانه به ترتیب با محلول پاشی نانو اکسید سیلیسیم و نانو اکسید روی حاصل شد. محمود سلطانی و کربلایی آقاملکی (Mahmoud Soltani and Karbalai Agha Molki, 2022) گزارش کردند که محلول پاشی با سولفات روی، شاخص برداشت برنج رقم هاشمی و گیلانه را افزایش داد. چایونگ و همکاران (Chaiwong *et al.*, 2022) نشان دادند که مصرف ۱۰۰ میلی گرم در لیتر از اکسید سیلیسیم عملکرد دانه برنج را بهبود بخشید. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2015) افزایش رشد گیاه برنج ناشی از محلول پاشی با کود نانو سیلیسیم را گزارش کرده‌اند. همچنین افزایش عملکرد ماده خشک در برنج ناشی از مصرف کودهای حاوی روی (Sheykhzadeh *et al.*, 2022) و سیلیسیم (Hoseinian Rostami *et al.*, 2021) گزارش شده است. در آزمایشی، مصرف سیلیکات کلسیم در خاک، وزن هزاردانه برنج را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Mahmad-Toher *et al.*, 2022). خیری و همکاران (Kheyri *et al.*, 2017) در بررسی اثر روش‌های کاربرد روی و سیلیس بر برخی صفات فیزیولوژیک برنج رقم طارم هاشمی نشان دادند که مصرف توأم سیلیس و روی منجر به بهبود جذب عناصر غذایی در مقایسه با کاربرد جداگانه عناصر و شاهد شد. توجه به

اهمیت عناصر ریزمغذی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی، این تحقیق به منظور بررسی تأثیر دو عنصر روی و سیلیسیم بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک برنج توده بومی علی کاظمی در استان گیلان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در روستای قلعه-رودخان از توابع شهرستان فومن با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۳ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۱ متری از سطح دریا در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. قبل از انجام آزمایش، جهت تعیین نیاز کودی خاک، نمونه برداری از نقاط مختلف خاک محل اجرای طرح تا عمق ۳۰ سانتی متری انجام و آنالیزهای مربوطه انجام شد که نتایج حاصل در جدول ۱ گزارش شده است. تیمارهای مورد بررسی شامل: (T₁) شاهد (عدم مصرف کودهای میکرو روی و سیلیسیم؛ T₂) مصرف سولفات روی به صورت خاک کاربرد؛ (T₃) مصرف سیلیکات پودری به صورت خاک کاربرد حاوی ۷۰ درصد اکسید سیلیسیم؛ (T₄) کود Aguil Zinc (محلول پاشی مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده حاوی ۸/۹ درصد وزنی حجمی روی)؛ (T₅) کود Siliko Pad (محلول پاشی مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده حاوی ۱۰ درصد پتاسیم و ۱۵ درصد سیلیسیوم)؛ (T₆) مصرف توأم سیلیکات کلسیم و سولفات روی به صورت خاک کاربرد؛ (T₇) کاربرد توأم سولفات روی و Aguil Zinc؛ (T₈) کاربرد توأم سولفات روی و Siliko Pad؛ (T₉) کاربرد توأم

کشت گردید. فاصله بین کرت‌ها از یکدیگر ۵۰ سانتی‌متر تعیین شد. بعد از مشخص کردن کرت‌ها در بین تکرارها برای جلوگیری از ادغام آب‌های خروجی هر کرت، دو کانال مجزا، یکی برای ورود آب به داخل کرت‌ها و دیگری برای خروج آب (زهکش) در نظر گرفته شد. همچنین برای جلوگیری از ورود محلول‌های کودی هر کرت به کرت‌های دیگر، تمام مرزها با پلاستیک پوشش داده شد تا آب یک کرت به کرت دیگر نفوذ نکند. همچنین جهت کوددهی و آبیاری یک فاصله ۵۰ سانتی‌متری بین هر تکرار با تکرار بعدی در نظر گرفته شد. در اوایل ادیبهشت برای نشاءکاری، تک تک کرت‌ها ماله‌کشی شدند. در تاریخ ۱۰ اردیبهشت نشاءکاری با دست و به صورت سنتی انجام گرفت. فاصله بین ردیف و روی ردیف ۲۵×۲۵ سانتی‌متر و در هر کپه پنج عدد نشاء در نظر گرفته شد.

سیلیکات کلسیم و Aguilu Zinc؛ (T₁₀) کاربرد توأم سیلیکات کلسیم و Siliko Pad؛ (T₁₁) کاربرد توأم Siliko Pad و Aguilu Zinc؛ (T₁₂) کاربرد توأم سیلیکات کلسیم و سولفات روی و Aguilu Zinc؛ (T₁₃) کاربرد توأم سیلیکات کلسیم و سولفات روی و Siliko Pad؛ (T₁₄) کاربرد توأم سولفات روی و Siliko Pad و Aguilu Zinc؛ (T₁₅) کاربرد توأم سیلیکات کلسیم و Siliko Pad و Aguilu Zinc؛ (T₁₆) کاربرد توأم سولفات روی و سیلیکات کلسیم و Siliko Pad و Aguilu Zinc بودند.

شخم اولیه زمین در اوایل فروردین و شخم ثانویه شامل انجام دو بار دیسک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک و ماله-کشی در اوایل اردیبهشت انجام شد. کرت‌های آزمایشی به طول ۳ و عرض ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. بوته‌های برنج به فاصله ۲۵ سانتی‌متر با تراکم ۶۵ بوته در متر مربع

جدول ۱- مشخصات نمونه خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Soil sample characteristics of the experimental site

مشخصه Characteristic	عمق خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر) Depth (0-30 cm)
کربن آلی (درصد) Organic Carbon (%)	1.17
نیتروژن کل (درصد) Total Nitrogen (%)	0.11
فسفر (ppm) Available P (ppm)	6
پتاسیم (ppm) Potassium (ppm)	50
روی (ppm) Zinc (ppm)	1.9

کود نیتروژن مورد استفاده در این آزمایش اوره با ۴۶ درصد نیتروژن خالص بود که در سه مرحله پیش از نشاء (یک سوم)، ظهور خوشه (یک سوم) و خوشه‌دهی کامل (یک سوم) به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شد. کودهای فسفر و پتاس، هرکدام به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم P_2O_5 و K_2O در هکتار به ترتیب از منبع سوپرفسفات تریپل و کلرور پتاسیم پیش از کاشت مورد استفاده قرار گرفتند. نانو اکسید سیلیسیم و نانو اکسید روی با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر توسط سم پاش در فاصله کم در هر کرت، قبل از گلدهی (زمان آبستنی) محلول-پاشی شدند. نانو ذرات مورد استفاده در مطالعه حاضر، تولید شرکت تحقیقات نانو مواد آمریکا بود که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد. کود مایع *Aguila Zinc* محلولی است غلیظ، کمپلکس شده با لینگو سولفونیک اسید و غنی شده با آمینواسید. کود مایع *Siliko Pad* (سیلیکات پتاسیم): محلولی نیمه غلیظ و سفید رنگ، ترکیبی از سیلیسیم و پتاسیم. این دو نوع کود نانو به صورت محلول پاشی قبل از گلدهی (زمان آبستنی) توسط سمپاش برای جلوگیری و پاشیده شدن به کرت و تیمار مجاور در ارتفاع کم و در هوای آرام طبق دستورالعمل شرکت سازنده (کود نانو اکسید سیلیسیم، سه لیتر در هکتار و برای هر کرت چهار و نیم مترمربع مزرعه آزمایشی تقریباً ۱۳ سی سی و کود نانو اکسید روی یک لیتر در هکتار و برای هر کرت آزمایشی ۱۰ سی سی) استفاده شد.

کنترل علف‌های هرز، به صورت تلفیقی دستی و مبارزه شیمیایی انجام شد. به منظور مبارزه شیمیایی از علف کش انتخابی ترتیلاکلر، به میزان یک لیتر در هکتار قبل از نشاء کاری استفاده شد. وجین دستی نیز در صورت نیاز، در کرت‌ها انجام گرفت. برای مبارزه با کرم ساقه خوار برنج نیز دو بار از سم دیازینون (گرانول پنج درصد) به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در مراحل انتهایی پنجه‌دهی و گلدهی استفاده شد. رسیدگی فیزیولوژیک در کرت‌های آزمایشی در اوایل مردادماه در مزرعه اتفاق افتاد که در این مرحله حدود ۹۵ درصد خوشه‌ها به رسیدگی فیزیولوژیک رسیده بودند و در این مرحله جهت رسیدگی کامل، آبیاری قطع گردید. برداشت بوته‌های برنج به صورت دستی و به طور کفبر از سطح زمین انجام گرفت و نمونه‌ها به صورت تصادفی با حذف اثرات حاشیه‌ای از هر کرت انتخاب شدند. عملکرد زیستی و عملکرد دانه با برداشت تمام کپه‌ها از ۴ متر مربع از قسمت میانی هر کرت محاسبه شد. شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی حاصل و به صورت درصد بیان گردید. میزان رطوبت دانه‌ها در زمان محاسبه وزن هزار دانه و عملکرد دانه ۱۴ درصد بود که با استفاده از رطوبت سنج پرتابل غلات اندازه گیری شد. داده‌های به دست آمده با نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. نمودارها با نرم افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

سیلیسیم (T16) نیز به‌ترتیب ۲۳/۵ و ۲۱/۲ درصد وزن هزار دانه را در مقایسه با شاهد افزایش داده و با تیمار T2 در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱). کاربرد خاکی سولفات روی بر افزایش وزن دانه گندم (Ramzan et al., 2020) و برنج رقم شیرودی (Hoseinzadeh et al., 2012) گزارش شده است. روی در سنتز پروتئین‌ها نقش دارد. کمبود روی باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شده و در نهایت کاهش رشد و عملکرد برنج را به‌دنبال دارد (Upadhyaya et al., 2017). همان‌طور که از نتایج پژوهش حاضر مشخص می‌شود، مصرف کودهای حاوی سیلیسیم و روی بر افزایش وزن دانه‌ها مؤثر بود. افزایش وزن دانه‌ها و افزایش عملکرد برنج با استفاده از سیلیسیم و روی می‌تواند به در دسترس بودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و بهبود فرآیند جذب و انتقال عناصر غذایی به اندام هوایی و دانه مربوط باشد (Kheyri et al., 2019). در مطالعه‌ای، مصرف ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار سیلیکات کلسیم و ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار پوست شلتوک و مخلوط کردن آن‌ها با خاک، وزن هزاردانه را به‌ترتیب ۱۴/۲ و ۱۳/۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (Mahmad-Toher et al., 2022). این عنصر در افزایش اندازه و کشش مخازن نقش مهمی دارد (Lavinsky et al., 2016).

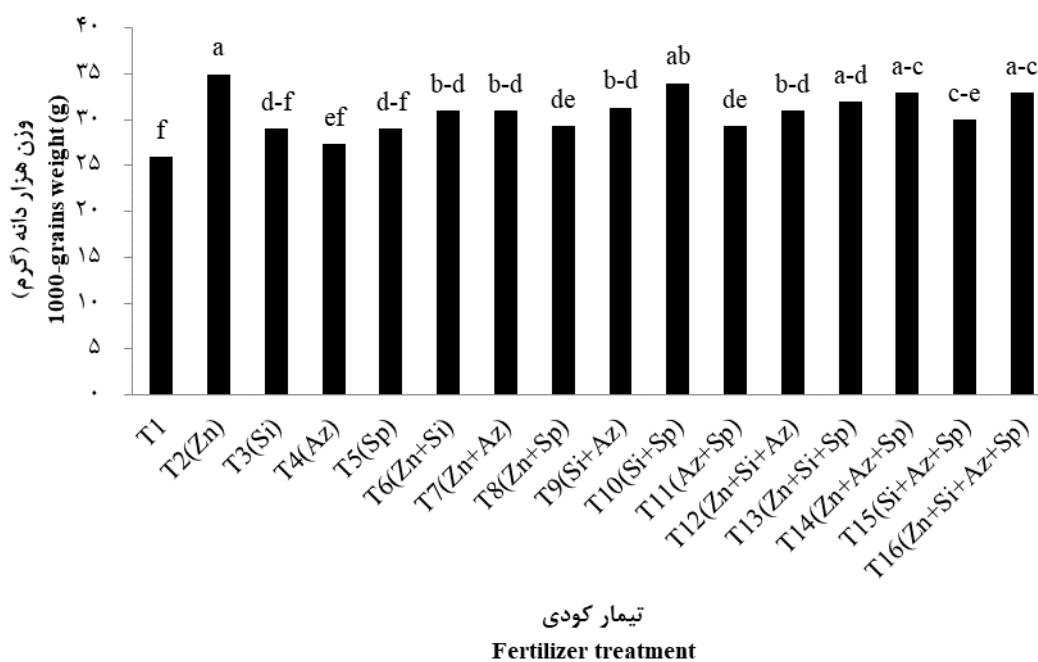
وزن هزاردانه: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تیمار کوددهی بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با مصرف کودهای روی و سیلیسیم در تمامی تیمارها، وزن هزاردانه در مقایسه با شاهد افزایش نشان داده است، اگرچه وزن هزاردانه در تیمارهای T3 (کاربرد سیلیکات پودری به صورت خاک کاربرد حاوی ۷۰ درصد اکسید سیلیسیم)، T4 (کود Aguilu Zinc) و T6 (کاربرد توأم سیلیکات کلسیم و سولفات روی به صورت خاک کاربرد) با تیمار T1 (شاهد) تفاوت معنی‌دار نشان نداده و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱). محققین مختلف نتایج متفاوتی را در زمینه مؤثر بودن کاربرد کودهای ریزمغذی بر وزن دانه برنج گزارش کرده‌اند. خیری و همکاران (Kheyri et al., 2019) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانوذرات روی و سیلیسیم و کاربرد خاک کاربرد کودهای حاوی این دو عنصر بر وزن هزار دانه اثر نداشتند، اما شیخ‌زاده و همکاران (Sheykhzadeh et al., 2021) بیان کردند که محلول‌پاشی کودهای حاوی این دو عنصر به‌ویژه روی، در مراحل مختلف رشد برنج بر وزن هزاردانه برنج مؤثر است. در پژوهش حاضر، بیش‌ترین وزن هزاردانه در تیمار کاربرد خاکی کود روی (T2) به‌میزان ۳۵ گرم مشاهده شد که ۲۵/۷ درصد مقدار این صفت را در مقایسه با شاهد افزایش داد. تیمارهای ترکیبی محلول-پاشی و کاربرد خاکی کود حاوی سیلیسیم (T10) و نیز تیمار ترکیبی محلول‌پاشی و مصرف خاکی روی و

جدول ۲- تجزیه واریانس اجزای عملکرد و عملکرد برنج تحت تأثیر تیمارهای کودی

Table 2. Variance analysis of yield components and yield of rice under the influence of fertilizer treatments

MS میانگین مربعات								
منابع تغییرات	df	تعداد پنجه بارور	تعداد دانه پر در خوشه	وزن هزار دانه	عملکرد	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	
S.O.V		Number of fertile tillers	Number of full grains in spike	1000-grains weight	Paddy yield	Biological yield	Harvest index	
Block	2	1.02 ^{ns}	8.2 ^{ns}	0.008 ^{ns}	2.27 ^{ns}	7108 ^{ns}	4900 ^{ns}	2.3 ^{ns}
Treatment	15	7.07**	43.6**	0.028**	17.13**	66540**	262700**	6.9**
Error	30	1.15	16.7	0.008	3.72	5855	52153	1.8
CV(%)	-	5.07	4.7	16.611	6.21	3	5	3.5

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, ** and ns: significant difference at $p < 0.01$ and $p < 0.05$ and not significantly difference, respectively

شکل ۱- اثر کاربرد کودهای روی و سیلیسیم بر وزن هزاردانه توده بومی علی کاظمی

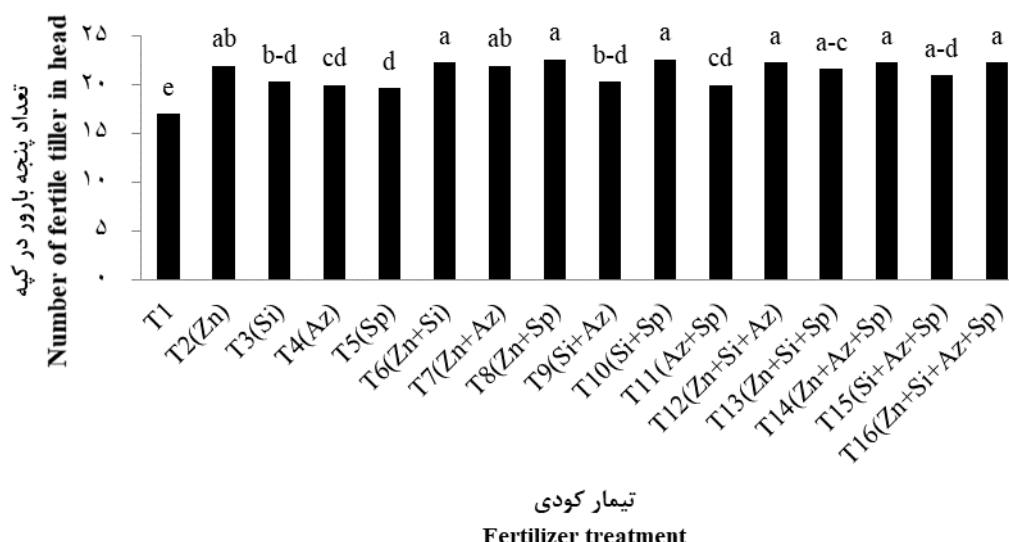
Figure 1. Effect of Zn and Si fertilizers application on 1000-grains weight of Ali Kazemi landrace

ستون‌های دارای حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد است.

Columns with common letters indicate non-significance with the LSD test at the 5% probability level.

تعداد پنجه بارور در بوته: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمار کوددهی بر تعداد پنجه در کپه، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که هر دو نوع کود میکرو روی و سیلیسیم باعث افزایش تعداد پنجه‌های بارور در کپه شدند (شکل ۲)، اما بیش‌ترین اثر در تیمارهایی مشاهده شد که کاربرد خاکی روی انجام گرفته بود. مبصر و همکاران (Mobasser *et al.*, 2013) بیان کردند که مصرف سولفات روی، تعداد پنجه بارور در کپه را ۹/۴ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. مقایسه محلول-پاشی با کودهای نانو حاوی روی و سیلیسیم و نیز سیلیکات پتاسیم بر برنج رقم شیرودی در مراحل مختلف رشد، نشان داد که تمامی این تیمارها بر تعداد پنجه بارور در کپه موثر بوده و سبب افزایش این صفت شدند. هرچند که مصرف کود نانو حاوی روی موثرتر از دو تیمار دیگر بود. روی مهم‌ترین عنصر ریزمغذی در رشد گیاهان است. روی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم توسط چندین سیستم آنزیمی مورد نیاز بوده و در متابولیسم نیتروژن گیاه نقش مهمی دارد. مشخص شده است که کاربرد روی از طریق خاک یا محلول‌پاشی و یا غوطه‌ور کردن نشاهای برنج در ZnO کمبود روی را برطرف کرده و بر عملکرد و اجزای

عملکرد برنج می‌افزاید (Jat *et al.*, 2011). در پژوهش حاضر دو تیمار T₇ و T₁₀ بالاترین تعداد پنجه بارور در کپه را نشان دادند (شکل ۲). این تیمارها اهمیت کودهای حاوی سیلیس در زراعت برنج را بیش از پیش نشان می‌دهد. خیری و همکاران (Kheyri *et al.*, 2019) بیان کردند که کاربرد کودهای حاوی سیلیسیم بر برنج ۸/۲ تا ۱۰/۹ درصد تعداد پنجه بارور در هر کپه را در مقایسه با شاهد افزایش داد. نتایج مشابهی نیز در مورد افزایش این صفت ناشی از مصرف کودهای حاوی سیلیس توسط یزدپور و همکاران (Yazdpour *et al.*, 2014) و کونگ و همکاران (Cuong *et al.*, 2017) در برنج گزارش شده است. مصرف خاکی و محلول‌پاشی عنصر سیلیسیم، تعداد دانه و تعداد خوشه‌ها را افزایش داده و برای پایداری عملکرد در برنج ضروری بنظر می‌رسد. محقان نقش سیلیسیم در بهبود اجزای عملکرد را به افزایش غلظت عنصر در اندام هوایی و برگ پرچم نسبت داده‌اند، (Chaiwong *et al.*, 2022). این عنصر بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه را به وسیله افراشته نگه داشتن برگ‌ها موجب شده و رشد و عملکرد را در برنج بهبود می‌بخشد (Meena *et al.*, 2014).



شکل ۲- اثر کاربرد کودهای روی و سیلیسیم بر تعداد پنجه بارور توده بومی علی کاظمی
Figure 2. Effect of Zn and Si fertilizers application on number of fertile tillers of Ali Kazemi landrace

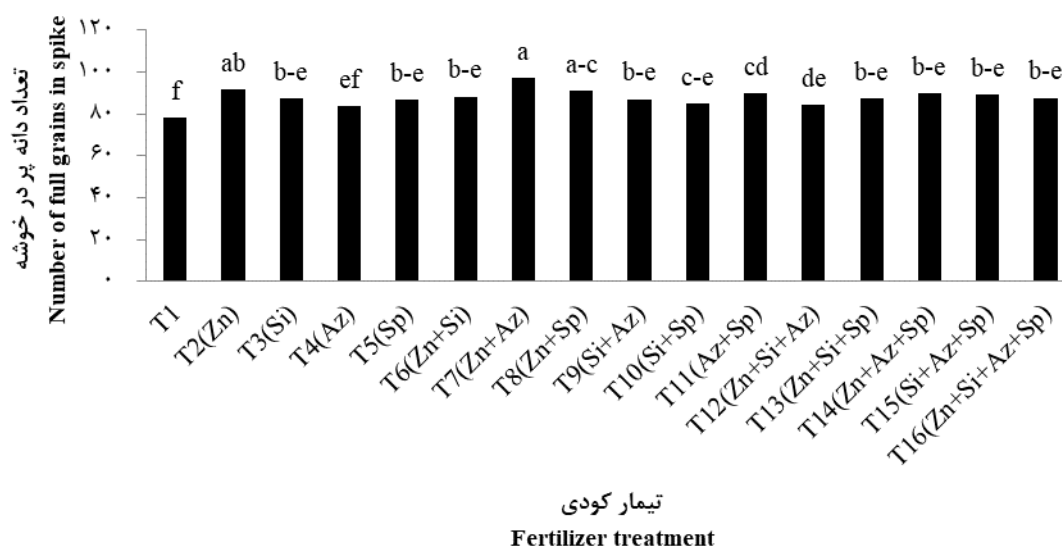
ستون‌های دارای حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد است
 Columns with common letters indicate non-significance with the LSD test at the 5% probability level.

تعداد دانه پر و پوک در خوشه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمار کوددهی بر تعداد دانه پر و پوک در خوشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با مصرف کودهای روی و سیلیسیم در تمامی تیمارها، بر تعداد دانه پر در خوشه در مقایسه با شاهد افزوده شده و از تعداد دانه پوک کاسته شد. بیش‌ترین تعداد دانه پر در خوشه در تیمار ترکیبی محلول‌پاشی و کاربرد خاکی عنصر روی (Zn+Az) مشاهده شد که با تیمار مصرف خاکی سولفات روی (Zn) و تیمار ترکیبی مصرف خاک کاربرد روی با محلول‌پاشی کود سیلیسیم (Zn+Sp) در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۳). افزایش تعداد دانه پر در برنج ناشی از مصرف عناصر روی (Hanifuzzaman et al., 2022) و سیلیسیم (Chaiwong et al., 2008). آن‌ها گزارش کردند که در بین اجزای عملکرد

توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است. خیری و همکاران (Kheyri et al., 2019) بیان کردند که مصرف کودهای حاوی این دو عنصر می‌تواند تعداد دانه پر در خوشه برنج را افزایش دهد که با جذب بیش‌تر روی و سیلیسیم در بافت‌های مختلف گیاه ارتباط دارد. افزایش تعداد دانه پر شده در خوشه ناشی از کاربرد عنصر روی را نتیجه نقش آن بر بهبود تشکیل ساختار رویشی گیاه به‌علت اثر این عنصر در بهبود فتوسنتز و ارتباط قوی بین منبع و مخزن برشمرده‌اند. روی بر تقسیم سلولی اثر داشته، بنابراین تشکیل دانه بیش‌تر و عملکرد بالاتر در گیاهان تیمار شده با این عنصر دور از انتظار نخواهد بود (Mondal et al., 2019). مشابه با مطالعه حاضر، تعداد بالاتر دانه پر ناشی از مصرف کودهای حاوی سیلیسیم نیز گزارش شده است (Tamai and Ma, 2008).

و آفات حشرات، و افزایش افراستگی برگ‌ها و در نتیجه افزایش نرخ فتوسنتز باشد که سبب افزایش تولید می‌شود (Chaiwong *et al.*, 2022). علاوه بر این، تامی و ما (Tamai and Ma, 2008) گزارش کردند که سیلیسیم بالاتر در پوسته بذر می‌تواند بر شدن دانه را با کاهش تعرق بیش از حد افزایش داده تا سطح رطوبت بالا در پوسته برای نمو طبیعی کاربوپسیس حفظ شود. در مطالعه این افراد، جهش‌یافته‌هایی که محتوای سیلیسیم در آن‌ها، پایین بود، از طریق کاهش باروری سنبلچه‌ها و متاثر شدن درصد سنبلچه‌های پر، ۷۹ تا ۹۸ عملکرد را کاهش دادند.

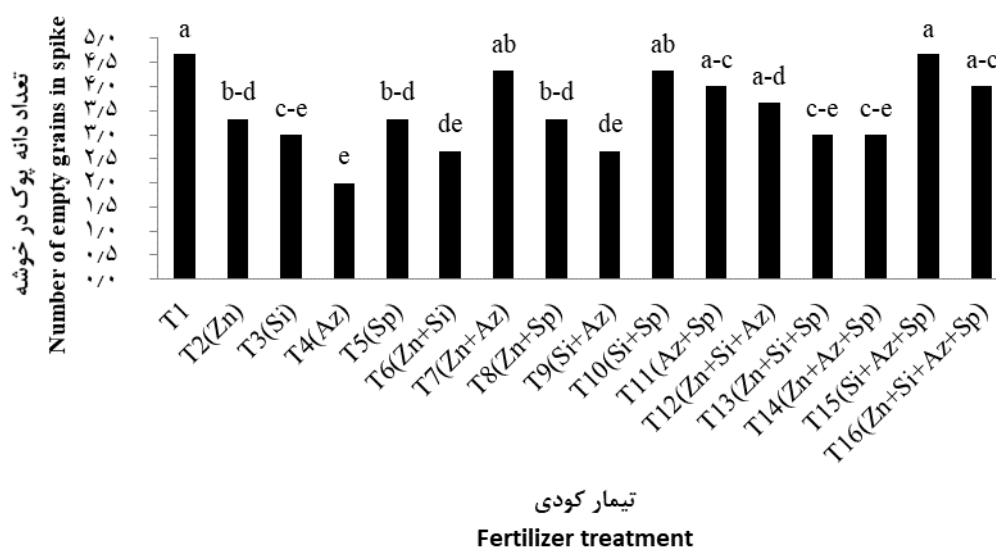
برنج، درصد سنبلچه‌های پر شده بیش‌تر از باقی اجزاء به کاهش سیلیسیم حساس می‌باشند. در بررسی اثر کود حاوی سیلیسیم بر تولید و تجمع این عنصر در برنج (Chaiwong *et al.*, 2022) گزارش شده است که اجزای عملکرد به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر کاربرد کود سیلیسیم قرار می‌گیرند و در مقایسه با تیمار شاهد، تعداد پنجه در بوته، خوشه در بوته، درصد دانه‌های پر و وزن هزار دانه بیشتری را نشان می‌دهند. گزارش شده است که مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سیلیسیم ۶۰ درصد تعداد دانه‌های پر را در برنج افزایش داد. اثر مثبت این عنصر بر عملکرد و اجزای عملکرد می‌تواند ناشی از تقویت استحکام ساقه‌ها، افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا



شکل ۳- اثر کاربرد کودهای روی و سیلیسیم بر تعداد دانه پر در خوشه توده بومی علی کاظمی

Figure 3. Effect of Zn and Si fertilizers application on number of full grains in spike of Ali Kazemi landrace

ستون‌های دارای حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد است.
Columns with common letters indicate non-significance with the LSD test at the 5% probability level.



شکل ۴- اثر کاربرد کودهای روی و سیلیسیم بر تعداد دانه پوک در خوشه توده بومی علی کاظمی
Figure 4. Effect of Zn and Si fertilizers application on number of empty grains in spike of Ali Kazemi landrace

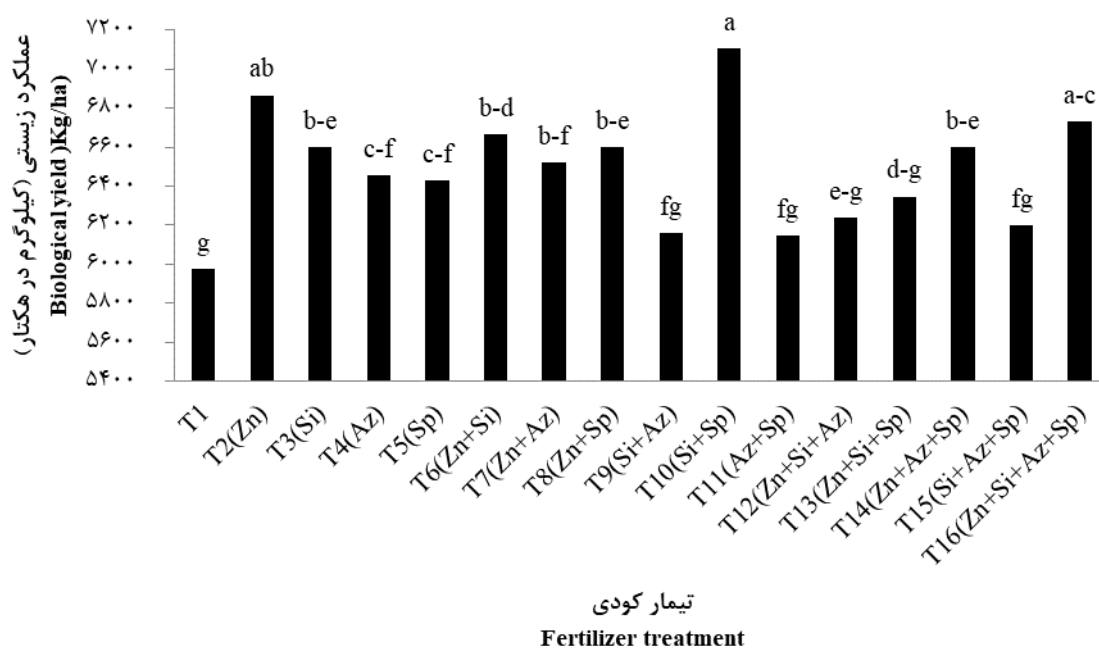
ستون‌های دارای حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد است.
 Columns with common letters indicate non-significance with the LSD test at the 5% probability level.

عملکرد زیستی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مصرف کودهای روی و سیلیسیم بر عملکرد زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مصرف کلیه کودهای مورد آزمایش و ترکیب آن‌ها توانست بر زیست‌توده نهایی گیاه اثر گذاشته و بر مقدار آن بیفزاید، هر چند که باید اذعان شود این افزایش در تیمارهای T₉، T₁₁، T₁₂ و T₁₃ از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده و با شاهد (T₁) در یک گروه آماری قرار گرفتند. محلول‌پاشی دو عنصر روی و سیلیسیم (تیمار T₁₀) بالاترین عملکرد زیستی معادل ۷/۱ تن در هکتار را نشان داد که ۲۲ درصد بالاتر از تیمار شاهد بود. ماده خشک نهایی همچنین در تیمارهای مصرف T₂ و T₁₆ بالا بوده و با تیمار T₁₀ در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵). افزایش ماده خشک در برنج ناشی از مصرف کودهای حاوی روی و سیلیسیم (Sheykhzadeh et al., 2022)

(Hoseinian Rostami et al., 2021) پیش‌تر نیز گزارش شده است. برنج گیاهی است که میزان بالایی از سیلیسیم را در بافت‌های خود انباشته می‌کند، به‌طوری‌که جذب بالای این عنصر در برنج، سبب افزایش ماده خشک در گیاه می‌گردد (Cuong et al., 2017). وانگ و همکاران (Wang et al., 2015) رشد بیش‌تر گیاه برنج ناشی از محلول‌پاشی با کود نانو سیلیسیم را گزارش کرده‌اند. افزایش ماده خشک در برنج ناشی از تیمارهای کودی حاوی سیلیسیم را به نقش مفید آن در بقای فعالیت‌های فتوسنتزی، افزایش پروتئین محلول در برگ و میزان قند محلول در گیاه، انباشتگی ماده خشک و جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سیلیسیم مرتبط می‌دانند (Crooks and Prentice, 2017). سیلیسیم در بافت‌های اپیدرمی به‌صورت یک غشای نازک سیلیسیم-سلولز تجمع یافته و با پکتین و یون‌های کلسیم همراه می‌باشد.

فتوسنتزی وجود داشته و برای بیوسنتز کلروفیل مورد نیاز است. اختلال در متابولیسم بافت سلولی، خسارت به پروتئین‌های غشاء، کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها، ایندول استیک اسید را نتیجه کمبود روی در گیاهان برشمرده‌اند که ممانعت از رشد گیاه را به-دنبال خواهد داشت (Crooks and Prentice, 2017).

تشکیل این لایه دوگانه کوتیکولی سیلیسیم‌دار گیاه را در برابر از دست رفتن آب در اثر تعرق کوتیکولی و برخی تنش‌های مکانیکی محافظت می‌کند. کمبود سیلیسیم می‌تواند منجر به کاهش مقدار کلروفیل برگ و به‌دنبال آن، کاهش میزان فتوسنتز در برنج شده و تجمع ماده خشک در گیاه را کاهش دهد. روی نیز به‌عنوان جزء جدایی‌ناپذیر آنزیم کربنیک انهدراز، در تمام بافت‌های



شکل ۵- اثر کاربرد کودهای روی و سیلیسیم بر عملکرد زیستی توده بومی علی کاظمی

Figure 5. Effect of Zn and Si fertilizers application on biological yield of Ali Kazemi landrace

ستون‌های دارای حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد

Columns with common letters indicate non-significance with the LSD test at the 5% probability level.

از تیمار کاربرد توأم سیلیکات کلسیم و Siliko Pad (۲۷۸۰ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که با تیمارهای کاربرد سولفات روی به صورت خاک کاربرد (۲۶۸۰

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مصرف کودهای میکرو بر عملکرد شلتوک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین عملکرد شلتوک

کیلوگرم در هکتار)، کاربرد توأم سیلیکات کلسیم و سولفات روی و Siliko Pad (۲۶۸۰ کیلوگرم در هکتار) و کاربرد توأم سولفات روی و سیلیکات کلسیم و Siliko Pad و Aguilu Zinc (۲۷۶۰ کیلوگرم در هکتار) از لحاظ آماری تفاوت معنی داری نشان نداده و در یک گروه آماری قرار گرفتند. تیمار شاهد (۲۲۸۰ کیلوگرم در هکتار) نیز کمترین عملکرد شلتوک را نشان داد که با تیمارهای کاربرد سیلیکات پودری به صورت خاک کاربرد (۲۴۰۰ کیلوگرم در هکتار)، کاربرد توأم سولفات روی و Aguilu Zinc (۲۴۰۰ کیلوگرم در هکتار)، کاربرد توأم سولفات روی و Siliko Pad (۲۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) و کاربرد توأم سولفات روی و Siliko Pad و Aguilu Zinc (۲۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) در یک گروه آماری قرار گرفتند. نتایج پژوهش حاضر، تأثیر کودهای سیلیسیم و روی بر عملکرد شلتوک برنج را به خوبی نشان داده و همان طور که از نتایج شکل ۶ بر می آید، تمامی تیمارهای کودی توانست عملکرد را در مقایسه با شاهد بهبود بخشد. اثرات مفید سیلیسیم و روی بر رشد، نمو، عملکرد و کیفیت در گیاهان زراعی مختلف به خوبی مطالعه و در منابع مختلف گزارش شده است. چایونگ و همکاران (Chaiwong *et al.*, 2022) گزارش کردند که مصرف ۱۰۰ میلی گرم در لیتر از اکسید سیلیسیم برای کوددهی گیاه برنج، عملکرد دانه را ۴۴ درصد در رقم CNT1 و ۲۳ درصد در رقم PTT₁ افزایش داد. کیم و همکاران (Kim *et al.*, 2012) گزارش کردند که مصرف کودی حاوی سیلیس عملکرد دانه برنج را ۱۳/۷ درصد در مقایسه با

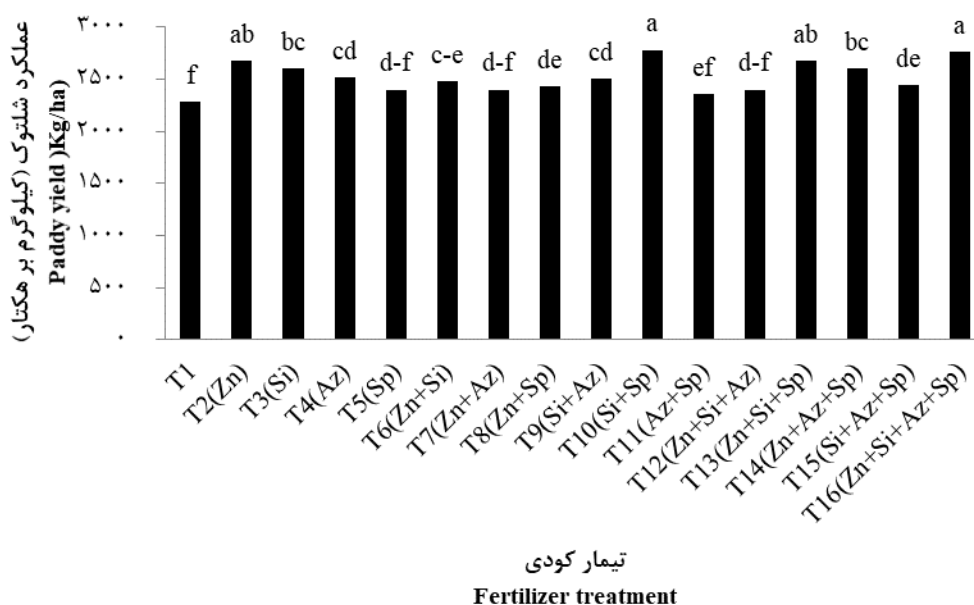
شاهد افزایش داد که با کاهش شاخص ورس، افزایش تعداد خوشه‌چه‌ها، درصد دانه‌های پر و وزن خشک در گیاه همراه بود. اثر تیمارهای شاهد، خیساندن ریشه، محلول پاشی و مصرف خاکی عنصر روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و ارتفاع بوته برنج رقم Sakha 104 در کشور مصر بررسی و گزارش شد که بین تیمارهای مورد بررسی تفاوت معنی دار مشاهده شده است. اگرچه تمامی تیمارها عملکرد و اجزای عملکرد را در مقایسه با شاهد افزایش دادند، اما مصرف ۱۵ کیلوگرم در هکتار از ZnSO₄.H₂O مؤثرتر از تیمارهای دیگر بود (Ghoneim, 2016).

در پژوهش حاضر تیمارهای کاربرد توأم سیلیکات کلسیم و Siliko Pad، کاربرد سولفات روی به صورت خاک کاربرد، کاربرد توأم سیلیکات کلسیم و سولفات روی و Siliko Pad و کاربرد توأم سولفات روی و سیلیکات کلسیم و Siliko Pad و Aguilu Zinc بیشترین عملکرد شلتوک را نشان دادند. این تیمارها تعداد دانه پر (شکل ۳) و وزن هزاردانه (شکل ۱) بالاتری را نیز در مقایسه با شاهد نشان دادند.

دو عنصر روی و سیلیسیم به طور مستقیم و غیر مستقیم در افزایش رشد و عملکرد گیاهان نقش دارند. در دسترس بودن عنصر روی برای گیاهان بر تنظیم روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز خالص، فعال شدن آنزیم‌ها و فرایندهای بیوشیمیایی مؤثر است (Mondal *et al.*, 2019) و کمبود عنصر سیلیسیم از طریق محدودیت در فرآیندهای تشکیل خوشه، لقاح و پر شدن دانه بر عملکرد اثر سوء دارد. گزارش شده است که فراهمی این عنصر در برنج

فرآیند کاهش پیدا کند که این عوامل به شدت تحت تأثیر مدیریت کوددهی است. منابع مختلف، اهمیت عنصر سیلیسیم را در این زمینه بسیار مهم گزارش کرده‌اند (Chaiwong *et al.*, 2022). همچنین تعدیل اثر تنش-های غیرزیستی مختلف از جمله تنش شوری، سمیت فلزات، عدم تعادل مواد مغذی، خشکی و دمای بالا (Verma *et al.*, 2021) از اثرات مثبت غیرمستقیم این کود بر گیاهان برشمرده‌اند، اگرچه دلایل فیزیولوژیک این اثرات همچنان نیاز به مطالعه بیش‌تر دارد.

وزن خشک گیاه، تعداد پنجه، خوشه‌چه‌ها و درصد دانه-های پر را با تأثیر بر مسیرهای فیزیولوژیک گفته‌شده در بالا، افزایش می‌دهد (Chaiwong *et al.*, 2022). کمبود سیلیسیم منجر به کاهش افراستگی برگ‌ها، کاهش فعالیت فتوسنتزی، کاهش تعداد خوشه و دانه پر در هر خوشه می‌شود. نمو دانه در غلاتی چون برنج، شامل فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله تشکیل گلچه‌ها و سنبله‌ها که خود ناشی از لقاح موفقیت‌آمیز بین گامت‌های نر و ماده و انتقال فتواسیمپلات‌ها به سمت گل‌های بارور می‌باشد. درصد دانه‌های پر ممکن است نتیجه شکست باروری یا فرآیند پرشدن دانه یا هر دو



شکل ۶- اثر کاربرد کودهای روی و سیلیسیم بر عملکرد شلتوک توده بومی علی کاظمی

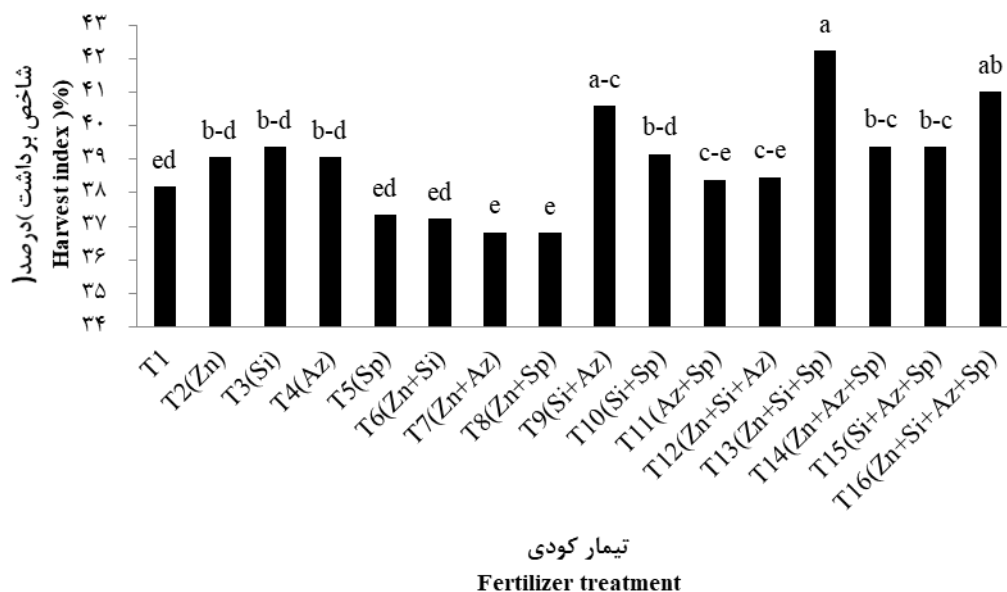
Figure 6. Effect of Zn and Si fertilizers application on paddy yield of Ali Kazemi landrace

ستون‌های دارای حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد

Columns with common letters indicate non-significance with the LSD test at the 5% probability level.

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مصرف کودهای میکرو بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در میان تیمارهای مورد مطالعه، بیش‌ترین شاخص برداشت از تیمار T₁₃ (کاربرد توأم سیلیکات کلسیم و سولفات روی و Siliko Pad) معادل ۴۲/۳ درصد و کم‌ترین مقدار این شاخص نیز از تیمار T₈ (کاربرد توأم مصرف خاکی سولفات روی و Siliko Pad) معادل ۳۶/۸ درصد حاصل شد. همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده، شاخص برداشت در دو تیمار T₉ و T₁₆ نیز بالا بوده و با تیمار T₁₃ در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۷). بالا بودن شاخص برداشت نمایانگر انتقال مواد فتوسنتزی بیش‌تر از گیاه به دانه‌ها می‌باشد. در تیمار T₁₃ بالا بودن شاخص برداشت نتیجه عملکرد اقتصادی بالا (شکل ۶) بود، درحالی‌که عملکرد زیستی در این تیمار پایین گزارش شد (شکل ۵). محمود سلطانی و کربلایی آقاملکی (MahmoudSoltani and Karbalai Agha Molki,)

(2022) در بررسی اثر محلول‌پاشی با کود حاوی روی بر رشد و عملکرد برنج رقم هاشمی و گیلانه گزارش کردند که محلول‌پاشی با سولفات روی، شاخص برداشت را افزایش داد. این افراد بیان کردند که بالا بودن شاخص برداشت لازمه عملکرد بالاتر است، ولی عوامل کلیدی تعیین‌کننده شاخص برداشت، وزن خشک در زمان خوشه‌دهی و سرعت رشد محصول در این مرحله می‌باشد. در پژوهش حاضر، تأثیر عناصر کم مصرف روی و سیلیسیم بر افزایش شاخص برداشت در تیمارهای T₂، T₃، T₄، T₉، T₁₀، T₁₃، T₁₄ و T₁₆ مشاهده شد. کاربرد عناصر کم‌مصرف به‌ویژه از طریق محلول‌پاشی افزایش جذب عناصر را به‌دنبال دارد و فعالیت‌های فتوسنتزی و انتقال مجدد این عناصر در اندام‌های گیاه برنج و انتقال مؤثر آن‌ها به اندام‌های هدف بهتر انجام شده و به عملکرد بالاتر منتج می‌شود (Kumar et al., 2020).



شکل ۷- اثر کاربرد کودهای روی و سیلیسیم بر شاخص برداشت توده بومی علی کاظمی
Figure 7. Effect of Zn and Si fertilizers application on harvest index of Ali Kazemi landrace

ستون‌های دارای حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد
 Columns with common letters indicate non-significance with the LSD test at the 5% probability level.

نتیجه‌گیری کلی

مصرف کودهای روی و سیلیسیم توانست سبب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج توده بومی علی کاظمی شود. تیمارهای T₂ (کاربرد سولفات روی به صورت خاک-پاش)، T₁₀ (کاربرد سیلیکات پودری به صورت خاک‌پاش همراه با محلول‌پاشی کود حاوی سیلیس) و T₁₆ (محلول-پاشی و مصرف خاک‌پاش کود روی و سیلیسیم) بالاترین وزن هزاردانه، عملکرد شلتوک و عملکرد زیستی را نشان دادند. پایین بودن میزان عناصر کم‌مصرف در غلات و کاهش تنوع غذایی منجر به بروز سوء تغذیه می‌گردد که این امر یکی از مشکلات کنونی کشور است. هر چند با

یک آزمایش یک‌ساله نمی‌توان به طور قطعی روشی را پیشنهاد نمود، لیکن با توجه به اثبات اثر عناصر سیلیسیم و روی بر کمیت و کیفیت دانه برنج و توانایی تعدیل تنش‌های زیستی و غیرزیستی در آزمایش‌های مختلف و بخصوص این پژوهش، استفاده بهینه از آن، ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت معنوی آزمایشگاه فیزیولوژی و زیست فناوری بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

- Abdoli, M., Esfandiari, A., Mousavi, S., Sadeghzadeh, B., & Saeidi, M. 2016. The effect of seed zinc internal content and foliar application of zinc sulfate on yield and storage compositions of wheat grain. *Iranian Journal of Crop Physiology*, 7(28), 91-106. [In Persian]
- Behera, S.K., Muktinutalapati, M.V.B.M. K., Sethy, P.K., Varma, N.U.B., Nanthamornphong, A., & Smerat, A. 2026. Assessment of nutrient deficiency of rice plant based on modified ResNet50. *Open Life Sciences*, 21(1), 20251281. <https://doi.org/10.1515/biol-2025-1281>
- Chaiwong, N., Pusadee, T., Jamjod, S., & Prom-u-thai., C. 2022. Silicon application promotes productivity, silicon accumulation and upregulates silicon transporter gene expression in rice. *Plants*, 11(7), 989. <https://doi.org/10.3390/plants11070989>
- Choi, S., Jun, H., Bang, J., Chung, S.H., Kim, Y., Kim, B.S., Kim, H., Beuchat, L.R., & Ryu, J.H. 2015. Behavior of *Aspergillus flavus* and *Fusarium graminearum* on rice as affected by degree of milling, temperature, and relative humidity during storage. *Food Microbiology*, 46, 307-313. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.08.019>
- Crooks, R., & Prentice, P. 2017. Extensive investigation into field based responses to a silica fertilizer. *Silicon*, 9(2), 301–304. <https://doi.org/10.1007/s12633-015-9379-3>
- Cuong, T.X., Ullah, H., Datta, A., & Han, T.C. 2017. Effects of silicon-based fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of rice in tropical zone of Vietnam. *Rice Science*, 24(5), 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.06.002>
- FAO. 2023. Cereals. OECD-FAO Agricultural outlook 2021-2030. OECD Publishing, Available online at: <https://doi.org/10.1787/19428846-en>.
- Ghoneim, A.M. 2016. Effect of different methods of Zn application on rice growth, yield and nutrients dynamics in plant and soil. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 6(2), 1-9. <https://doi.org/10.9734/JAERI/2016/22607>
- Hanifuzzaman, M., Jamil, U.F.M., Golam, M.M., Kumar, S.S., Kumar, P.S., & Harun, R.M. 2022. Effect of zinc and boron management on yield and yield contributing characters of Aus rice (*Oryza sativa*). *Research on Crops*, 23(1), 1-10. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.001>
- Hajipour, H., Jabbarzadeh, Z., & Rasouli Sadaghiani, M.H. 2019. Effect of foliar application of silica on some growth, biochemical and reproductive characteristics and leaf elements of chrysanthemum (*Dendranthema×Grandiflorum* cv. Fellbacher Wein). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 10(1), 29-46. <https://doi.org/10.29252/ejgcst.10.1.29> [In Persian]
- Hoseinzadeh, H., Mahdavi Damghani, A., Delkhosh, B., & Mohadesi, A. 2012. Effects of zinc sulfate application on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L. var. Shiroudi). *New Finding in Agriculture*, 25(7): 47-55. [In Persian]
- Hoseinian Rostami, Y., Bahmanyar, M.A., Sadeghzadeh, F., Emadi, S.M., & Biparva, P. 2021. The effect of different levels of silicon sources and irrigation regimes on photosynthetic parameters of rice (*Oryza sativa* L. Var. Tarom Hashemi). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11(3), 53-75. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2021.17970.1947> [In Persian]
- Hussain, S., Maqsood, M.A., Rengel, Z., & Aziz, T. 2012. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. *Plant and Soil*, 361(1-2), 279-290. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1217-4>

- Jat, S.L., Shivay, Y.S., & Parihar, C.M. 2011. Dual purpose summer legumes and zinc fertilization for improving productivity and zinc utilization in aromatic hybrid rice (*Oryza sativa*). [Indian Journal of Agronomy](https://doi.org/10.59797/ija.v56i4.4711), 56(4), 328-333. <https://doi.org/10.59797/ija.v56i4.4711>
- Jeer, M., Telugu, U.M., Voleti, S.R., & Padmakumari, A.P. 2017. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, *Scripophaga incertulas* (Walker) damage in rice. *Journal of Applied Entomology*, 141(3), 189-201. <https://doi.org/10.1111/jen.12324>
- Joukar, M., Nasiri, M., Kheyri, N., & Habibi, M. 2016. Effect of time of foliar application and type of liquid fertilizer on quantitative and qualitative yield of ratoon rice (var. Tarom). *Journal of Plant Ecophysiology*, 8(25), 161-169.
- Kheyri, N., Ajam Norouzi, H., Mobasser, H.R., & Torabi, B., 2017. Evaluation of the effect of foliar and soil application of zinc and silicon nanoparticles on some physiological traits of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 48(12), 52-64. <https://doi.org/20.1001.1.76712423.1396.12.48.5.9> [In Persian]
- Kheyri, N., Ajam-Norouzi, H., Mobasser, H.R., & Torabi, B. 2019. Comparison of NPs foliar application of silicon and zink with soil application on agronomic and physiological traits of rice (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(3), 503-515. <https://doi.org/10.22067/gsc.v17i3.80028> [In Persian]
- Kim, Y.H., Khan, A.L., Shinwar, Z.K., Kim, D.H., Waqas, M., Kamran, M., & Lee, I.J. 2012. Silicon treatment to rice (*Oryza sativa* L. cv. 'Gopumbyeo') plants during different growth periods and its effects on growth and grain yield. *Pakistan Journal of Botany*, 44, 891-897.
- Kumar, R., Kumar, M., Yadav, S., & Kumar, R. 2020. Effect of sources and methods of zinc application on productivity, nutrient uptake and Zinc use efficiency of Basmati rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(1): 2231-2242. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.901.253>
- Lavinsky, A.O., Detmann, K.C., Reis, J.V., Ávila, R.T., Sanglard, M.L., Pereira, L.F., & DaMatta, F.M. 2016. Silicon improves rice grain yield and photosynthesis specifically when supplied during the reproductive growth stage. *Journal of Plant Physiology*, 206, 125-132. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.09.010>
- Mahmad-Toher, A., Govender, N., Dorairaj, D., & Wong, M. 2022. Comparative evaluation on calcium silicate and rice husk ash amendment for silicon-based fertilization of Malaysian rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Journal of Plant Nutrition*, 45(9), 1336-1347. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2014878>
- MahmoudSoltani, S., & Karbalai Agha Molki, M.T. 2022. [The effect of zinc and phosphorus foliar application on morphological characters, grain yield and yield components, and grain quality of rice \(Hashemi local and Guilane improved cultivars\)](https://doi.org/10.22069/jopp.2022.18731.2765). *Journal of Plant Production Research*, 29(2): 35-57. <https://doi.org/10.22069/jopp.2022.18731.2765> [In Persian]
- Meena, V.D., Dotaniya, M.L., Coumar, V., Rajendiran, S., Kundu, S., & Subba Rao, A. 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 84(3), 505-518.
- Mobasser, H.R., Hoseini, S.H., Ghanbari Malidareh, A., Petroodi, E., & Rahimi Sadeghi, S.A. 2013. Effects of application and non-application of micronutrients Cu, Mn and Zn on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L. Var Tarom). *Crop Production Under Environmental Stress Conditions*, 5(1): 1-9. [In Persian]

- Mondal, R., Goswami, S., Kumar Mandi, S., & Goswami, S.B. 2019. Quality seed production of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by nutrient management during Kharif Season in the lower indo-gangetic plains. *Environment and Ecology*, 37(1), 274-280.
- Ramarao, B.K., Desai, M.A., Basavanneppa, K., Narayanrao, N., Pruthviraj, H., Sharanagouda, Y.M.R. & Anjanapura, V.R. 2026. Biogenic zinc oxide and silicon dioxide nanoparticles derived from spinach and paddy husk for enhanced rice cultivation. *Discover Materials*, 6(2). <https://doi.org/10.1007/s43939-026-00635-1> [In Press]
- Ramzan, Y., Hafeez, M.B., Khan, S., Nadeem, M., Rahman, S., Batool, S., & Agmad, J. 2020. Biofortification with zinc and iron improves the grain quality and yield of wheat crop. *International Journal of Plant Production*, 14, 501-510. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00100-w>
- Rehman, H.U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A., & Rengel, Z. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: A Review. *Plant and soil*, 361(1), 203-226. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1346-9>
- Sheykhzadeh, M., Mobasser, H., Rahimi Petrodi, E., & Rezvani, M. 2021. Effects of foliar application of potassium silicate and nanoparticles (silicon+zinc) in different stages of growth and development on quantitative yield and grain enrichment of rice (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(1), 73-89. <https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.37184.0> [In Persian]
- Sheykhzadeh, H.M., Rahimi Petrodi, E., & Rezvani, M. 2022. Silicon and zinc improves grain yield and nutrient status in rice when supplied during the different growth stages. *Romanian Agricultural Research*, 39, 371-383. <https://doi.org/10.59665/rar3934>
- Tamai, K., & Ma, J.F. 2008. Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. *Plant and Soil*, 307(1), 21-27. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9571-y>
- Tuyogon, D.S.J., Impa, S.M., Castillo, O.B., Larazo, W., & Johnson-Beebout, S.E. 2016. Enriching rice grain zinc through zinc fertilization and water management. *Soil Science Society of America Journal*, 80(1), 121-134. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.07.0262>
- Upadhyaya, H., Roy, H., Shome, S., Tewari, S., Bhattacharya, M.K., & Panda, S.K. 2017. Physiological impact of zinc nanoparticle on germination of rice (*Oryza sativa* L.) seed. *Journal of Plant Science and Phytopathology*, 1(2), 62-70. <https://doi.org/10.29328/journal.jpssp.1001008>
- Verma, K.K., Song, X., Zeng, Y., Guo, D., Singh, M., Rajput, V.D., Malviya, M.K., Wei, K., Sharma, A., Li, D., Chen, G., & Li, Y. 2021. Foliar application of silicon boosts growth, photosynthetic leaf gas exchange, antioxidative response and resistance to limited water irrigation in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 582-592. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.032>
- Wang, S., Wang, F., & Gao, S. 2015. Foliar application with nano-silicon alleviates Cd toxicity in rice seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), 2837-2845. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3525-0>
- Yazdpour, H., Noormohamadi, Gh., Madani, H., Heidari Sharif Abad, H., & Mobasser, H.R. 2014. Role of nano-silicon and other silicon resources with nitrogen and phosphorus application on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.). *Trends in Life Sciences*, 3, 36-41.