

اثرات کود آلی و عناصر روی و سیلیسیم (محلول پاشی و خاک مصرف) بر عملکرد دانه، جذب عناصر و پروتئین دانه گندم

مریم یوسف نژاد^۱، علیرضا دانشمند^{۲*}، حمیدرضا مبصر^۲ و حسن نیکخواه کوچکسرای^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۵

چکیده

کاربرد عناصر روی و سیلیسیم باعث بهبود رشد، عملکرد و ارزش غذایی دانه می‌شود. مصرف کود آلی با بهبود فراهمی عناصر غذایی، می‌تواند به ارتقاء عملکرد و ارزش غذایی دانه کمک کند. این مطالعه با هدف بهبود کمیت و کیفیت دانه گندم در دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی قائم‌شهر طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کود دامی با ۲ سطح (کود گاوی و عدم مصرف) به عنوان عامل اصلی و کاربرد عناصر روی و سیلیسیم (کودهای نانو و معمولی) با ۹ سطح به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان دادند که اثر سال بر هیچ یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نشد. عملکرد دانه در تیمار بدون مصرف کود گاوی در مقایسه با مصرف کود گاوی ۱۶ درصد بیشتر بود که به خاطر تعداد سنبلیچه و تعداد دانه در سنبله بیشتر بود. بیشترین عملکرد دانه برای تیمار بدون مصرف کود گاوی و با مصرف سولفات روی و مصرف همزمان سیلیکات پتاسیم و نانواکسید روی (به ترتیب ۴۴۲۳ و ۴۳۹۴ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. بالاترین غلظت روی دانه با محلول پاشی نانواکسید روی، مصرف سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی و محلول پاشی نانوذرات سیلیسیم و روی به دست آمد. حداکثر پروتئین دانه در تیمار با مصرف کود گاوی همراه با محلول پاشی نانواکسید روی، نانوذرات سیلیسیم و روی و مصرف خاکی سولفات روی به دست آمد. کاربرد تنها سولفات روی یا کاربرد ترکیبی سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی برای بهبود عملکرد دانه پیشنهاد می‌شود. کاربرد کود گاوی توأم با هر یک از تیمارهای سولفات روی، نانواکسید روی و نانوذرات سیلیسیم + روی برای افزایش پروتئین دانه توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: پروتئین دانه، روی دانه، سیلیسیم دانه، کود گاوی، نانوذرات.

۱- دانشجوی دکتری؛ گروه زراعت، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران.

۲- استادیار گروه زراعت، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران.

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.)، مهم‌ترین محصول یک‌ساله است و بیشترین سطح زیر کشت دیم در جهان را دارد و بطور میانگین حدود ۲۰ درصد از کالری‌ها، پروتئین‌ها، مواد معدنی و ویتامین‌های گروه ب مورد نیاز مردم دنیا را تأمین می‌کند (Halim et al., 2018). افزایش تولید در واحد سطح، کاهش هزینه‌های تولید و کارایی مصرف بالاتر نهاده‌ها، بدون آسیب رساندن به خاک، آب، محیط زیست و کیفیت محصول، اهداف اصلی یک نظام زراعی می‌باشند (Mengistu et al., 2017).

در مناطق گرم و خشک، از جمله ایران، میزان مواد آلی خاک اغلب بسیار پایین است، بنابراین محافظت و بهبود مواد آلی خاک برای حفظ سلامتی خاک و کشاورزی پایدار در این نواحی بسیار حائز اهمیت است (Keshavarz Afshar et al., 2014). استفاده از کودهای آلی در کشاورزی پایدار علاوه بر افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم عمل نموده و موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Madrid et al., 2007). کودهای آلی با افزایش محتوای کربن آلی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، عملکرد دانه و عملکرد زیست توده را افزایش می‌دهد (Materechera and Mehuys, 1991). استفاده از کود حیوانی به دلیل نقش آن در بهبود حاصلخیزی خاک استراتژی عملی مؤثری در تولید بهینه محصول و غنی‌سازی گندم است (Majidi and Shahbazi, 2020). کود گاوی به دلیل محتوای بالای مواد مغذی و مواد آلی، از دیرباز به عنوان مطلوب‌ترین کود حیوانی شناخته شده است

(Azad et al., 2022). محققان نشان دادند که کاربرد کود دامی باعث بهبود رشد، عملکرد کاه، عملکرد دانه و محتوای پتاسیم، نیتروژن و روی در دانه و کاه گندم شد (Azad et al., 2022).

روی (Zn)، جزو عناصری است که وجود آن می‌تواند موجب افزایش کمی و کیفی محصول گندم شود (Shekari et al., 2015). روی برای رشد گیاه ضروریست و کمبود آن می‌تواند موجب عدم توازن عناصر غذایی در گیاه و در نهایت کاهش کمیت و کیفیت محصول شود (Abbasi et al., 2019). کمبود روی در خاک‌ها می‌تواند عملکرد را تا ۴۰ درصد کاهش دهد، بدون اینکه گیاه علائم کمبود روی را نشان دهد (Amanullah et al., 2020). کمبود روی خاک، ممکن است منجر به کمبود روی در انسان نیز شود، به‌ویژه در کشورهای فقیری که غذاها عمدتاً بر پایه غلات هستند و با کمبود پروتئین حیوانی مواجه می‌باشند (Cakmak and Kutman, 2017). محققان دلیل اصلی کاهش سلامت انسان را مصرف زیاد غلات با فراهمی زیستی کم روی می‌دانند (Cakmak and Kutman, 2017). اسیدیته بالای خاک، آهکی بودن خاک، مصرف بی‌رویه کودهای فسفات، غلظت بالای بی‌کربنات در آب‌های آبیاری و عدم استفاده از کودهای حاوی روی در خاک، از دلایل عمده کمبود روی در خاک‌های ایران می‌باشند (Dorostkar et al., 2013). کاربرد کود روی در خاک‌های دارای کمبود این عنصر، یک استراتژی کلی برای مقابله با کمبود آن بوده و علاوه بر افزایش عملکرد دانه به افزایش غلظت روی در دانه نیز کمک می‌کند (Mahmoud Soltani et al., 2017). مشاهدات نشان داد که با کاربرد کود روی، بیشترین تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد و عملکرد

مقادیر متعادل مواد مغذی نقش دارند و نیز گزینه مناسبی برای خاک‌هایی با ماده آلی پایین می‌باشند. همچنین، کاربرد کودهای سیلیسیم و روی علاوه بر این که در بهبود رشد و افزایش عملکرد نقش دارند، با افزایش فراهمی زیستی این عناصر در دانه به سلامت بشر نیز کمک می‌کنند. بدین ترتیب این مطالعه با هدف بررسی اثرات کود آلی و عناصر روی و سیلیسیم بر کمیت و کیفیت دانه گندم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این تحقیق، آزمایشی به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده و بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر اجرا شد. محل اجرای آزمایش در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی با ارتفاع از سطح دریا ۳۰ متر واقع می‌باشد. داده‌های هواشناسی در طول رشد و نمو گندم و خصوصیات فیزیکیوشیمیایی خاک محل آزمایش به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

تیمارهای آزمایشی شامل کود دامی با ۲ سطح (کود گاوی و عدم مصرف) به عنوان عامل اصلی و کودهای روی و سیلیسیم با ۹ سطح (عدم مصرف، سولفات روی، سیلیکات پتاسیم، نانو اکسید روی، نانو اکسید سیلیسیم، سیلیکات پتاسیم + سولفات روی، سیلیکات پتاسیم + نانو اکسید روی، نانو اکسید سیلیسیم + سولفات روی و نانو اکسید سیلیسیم + نانو اکسید روی) به عنوان عامل فرعی بودند. مزرعه محل آزمایش در سال قبل زیر کشت گندم بود. جهت آماده سازی زمین از گاواهن برگردان و دیسک استفاده شد. سپس زمین به ۳

پروتئین دانه به دست آمد (Seyed Hayat Gheyb *et al.*, 2019).

سیلیکون (Si) یکی از فراوان‌ترین عناصر در پوسته زمین است که حدود ۷۰ درصد از جرم خاک را تشکیل داده است (Verma *et al.*, 2020). در شرایط مطلوب، بسیاری از گیاهان می‌توانند بدون حضور سیلیکون رشد کنند. از این‌رو، هنوز به عنوان یک عنصر ضروری شناخته نشده است، اما به عنوان عنصر شبه ضروری برای رشد گیاهان در نظر گرفته می‌شود (Gaur *et al.*, 2020). قرار گرفتن در معرض سیلیکون اثرات مفید بی‌شماری بر گیاهان مختلف، به ویژه در گیاهان دانه دار و سیپراسه (Cyperaceae) می‌گذارد (Verma *et al.*, 2021). کاربرد منابع خارجی سیلیکون می‌تواند منجر به ارتقای رشد و افزایش تحمل گیاهان زراعی به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی شود (Hadi *et al.*, 2016). افزایش معنی دار تمامی صفات زراعی گندم با کاربرد اشکال مختلف سیلیس اثبات شده است (Salem *et al.*, 2022). محققان نشان داده‌اند که با افزایش میزان کاربرد سیلیس، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد زیست توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت افزایش می‌یابد (Rezabeighi *et al.*, 2020). کاربرد بهینه سیلیسیم، سطح کل جذب کننده عناصر را با افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها افزایش می‌دهد (Saberian-Ranjbar *et al.*, 2019). افزایش جذب عناصر با اضافه کردن سیلیسیم به محلول غذایی، در دیگر تحقیقات نیز بیان شده است (Wang *et al.*, 2001).

کودهای آلی به عنوان یک اصلاح کننده خاک، خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را بهبود می‌بخشند. این نوع کودها در تأمین

تکرار و هر تکرار به ۱۸ کرت تقسیم شد. کرت‌ها با مساحت $4/8$ متر مربع از ۶ ردیف کاشت به طول ۴ متر و فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر تشکیل شدند. فاصله تکرارها از یکدیگر یک متر و فاصله بین کرت‌ها نیم متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت گندم دیم، به‌صورت دستی و با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع (۱۵۰-۱۳۵ کیلوگرم در هکتار) در هفته آخر آبان ماه انجام شد. رقم احسان، رقم مورد مطالعه بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران تهیه شد و بعد از تعیین قوه نامیه و درصد خلوص، با قارچکش ویتاواکس (۲/۵ در هزار) ضدعفونی گردید. این رقم به‌خاطر عملکرد دانه بالا و مقاومت در برابر جوانه‌زنی روی سنبله قبل از برداشت، ریزش دانه و بیماری (زنگ زرد و قهوه‌ای و فوزاریوم سنبله)، خیلی سریع مورد پذیرش کشاورزان قرار گرفت و به‌عنوان رقم جدید در مناطق مختلف مازندران معرفی شد (Falahi and Khavarinejad, 2017). بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۲)، فسفر (سوپرفسفات تربیل)، پتاسیم (سولفات پتاسیم) و نیتروژن (اوره) به ترتیب به‌میزان ۱۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای کرت‌های بدون مصرف کود گاوی در نظر گرفته شدند. کودهای فسفر و پتاسیم به‌طور کامل قبل از کاشت و کود نیتروژن به‌مقدار مساوی در سه مرحله، قبل از کاشت، پنجه‌دهی و ساقه‌دهی اعمال شدند. کود گاوی کاملاً پوسیده به‌میزان ۱۲ تن در هکتار و کودهای سیلیکات پتاسیم و سولفات روی به‌ترتیب به‌میزان ۴۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت با خاک کرت‌های موردنظر مخلوط شدند. کود گاوی از بخش تحقیقات علوم دامی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه قائم شهر تهیه شد. قبل از کوددهی، ابتدا کودها بر اساس

مساحت هر کرت ($4/8$ متر مربع) محاسبه و سپس به‌صورت دستی اعمال شدند. به‌منظور جذب بهتر عناصر غذایی از خاک توسط گیاه، کود گوگرد به‌میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار در تمام کرت‌ها مصرف شد. محلول‌پاشی نانوذرات روی و سیلیسیم با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در اوایل، اواسط، اواخر پنجه‌زنی و سنبله‌دهی کامل انجام شد (Kheyri et al., 2018). نانوذرات مورد مطالعه، تولید شرکت تحقیقات نانومواد آمریکا (US Research Nanomaterials, Inc) بودند که مشخصات آنها در جدول ۳ ارائه شده است. به‌منظور عدم تأثیرپذیری نتایج از عناصر غذایی احتمالی باقی مانده در خاک مزرعه، آزمایش برای سال دوم در زمینی متفاوت انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز در موارد ضروری انجام گرفت. علف‌های هرز داخل کرت‌ها به‌صورت دستی وجین شدند و علف‌های هرز بین کرت‌ها به‌روش شیمیایی (سموم گرانتستار و پوماسوپر به‌ترتیب برای علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ) کنترل شدند. به‌دلیل عدم وجود آفت و بیماری در طول دوره رشد گندم، هیچ‌گونه مبارزه‌ی شیمیایی صورت نگرفت.

برداشت محصول گندم در اواسط خردادماه، پس از رسیدگی فیزیولوژیکی به‌صورت دستی انجام شد. نمونه‌گیری پس از حذف اثر حاشیه‌ای یعنی دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت، از چهار خط وسط انجام گرفت. صفات مورد مطالعه شامل صفات زراعی، جذب عناصر و پروتئین دانه بودند که روش محاسبه آنها در ادامه ارائه شده است. ارتفاع بوته با میانگین‌گیری از روی ۱۰ بوته به‌دست آمد. طول سنبله و تعداد دانه در سنبله با میانگین‌گیری از روی ۱۰ سنبله تعیین شدند. تعداد سنبله‌چه در سنبله با میانگین-

و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد و تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثر ساده روی و سیلیسیم قرار گرفتند. اثر متقابل کود دامی × روی و سیلیسیم بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سال × کود دامی × روی و سیلیسیم بر تعداد سنبلچه در سنبله در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شدند. اثر ساده سال و اثرات متقابل سال × کود دامی و سال × روی و سیلیسیم بر هیچ یک از صفات زراعی مورد مطالعه معنی دار نشدند. وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک نیز تحت تأثیر هیچ یک از تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند (جدول ۵).

یافته‌ها نشان داد که ارتفاع بوته در تیمار مصرف کود گاوی، ۵/۳۵ سانتی‌متر بیشتر از تیمار عدم مصرف بود (جدول ۵). کودهای آلی علاوه بر فراهمی عناصر غذایی، با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه، شرایط افزایش رشد اندام هوایی و تولید ماده خشک را فراهم می‌کنند (Saiedinejad et al., 2022). نتایج مشابهی مبنی بر اثر مثبت کودهای دامی بر افزایش ارتفاع بوته توسط آزاد و همکاران (Azad et al., 2022) ارائه شد. نتایج نشان داد که مصرف روی اثر مثبتی بر افزایش ارتفاع بوته گندم داشت. بیشترین ارتفاع بوته در تیمارهای سیلیکات پتاسیم + سولفات روی، سولفات روی، نانو اکسید روی و نانو اکسید سیلیسیم + سولفات روی به دست آمد که به ترتیب به میزان ۵/۰۸، ۴/۹۸، ۴/۹۸ و ۴/۹۸ سانتی‌متر در مقایسه با تیمار عدم مصرف رشد نشان داد (جدول ۶). کاربرد عنصر روی از طریق افزایش تولید ایندول استیک اسید باعث رشد طولی ساقه

گیری از روی ۱۵ سنبله مشخص شد. وزن هزار دانه با شمارش و توزین ده نمونه صدتایی از دانه‌ها (رطوبت ۱۴ درصد) به دست آمد. عملکرد بیولوژیک با برداشت بوته‌ها از مساحت یک متر مربع از وسط هر کرت و توزین آنها پس از خشک کردن در آون با دمای ۷۴ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت تعیین شد (Dahmardeh et al., 2014). سپس دانه‌ها از کاه جدا شده و به عنوان عملکرد دانه (رطوبت ۱۴ درصد) و عملکرد کاه جداگانه توزین شدند. عملکردهای به دست آمده بر حسب کیلوگرم در هکتار بیان شدند. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه و به صورت درصد بیان شد. رنک‌سنجی (Dallagnol et al., 2011) و طیف سنجی جذب اتمی (Emami, 1996) اندازه‌گیری شدند. محتوای پروتئین دانه از حاصل ضرب غلظت نیتروژن در ضریب ۶/۲۵ به دست آمد (Payegozar, 2008). غلظت نیتروژن دانه نیز به روش کج‌لدال محاسبه شد (Emami, 1996). داده‌های به دست آمده با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ مطابق با جدول ۴ (Yazdi samadi et al., 2011) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. ترسیم جداول نیز توسط نرم‌افزار Word نسخه ۲۰۰۷ انجام شد.

نتایج و بحث

صفات زراعی

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده کود دامی بر ارتفاع بوته و تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۵ درصد و بر طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، عملکرد دانه، عملکرد کاه

تفاوت معنی‌داری با عدم مصرف کود گاوی و کاربرد سیلیکات پتاسیم + سولفات روی در سال دوم (۱۹/۳۷ سنبله) نشان نداد. حداقل تعداد سنبله در سنبله در سال اول با مصرف کود گاوی و سولفات روی (۱۵/۵۰ سنبله) به‌دست آمد (شکل ۱).

جدول ۶ نشان می‌دهد که تعداد دانه در سنبله در تیمار عدم مصرف کود گاوی به‌میزان ۸/۸ درصد بیشتر از تیمار مصرف کود گاوی بود. این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش تعداد سنبله در هر سنبله، افزایش تعداد گلچه و یا افزایش تعداد گلچه‌های بارور باشد (Lotfi Jala, 2013; Abadi et al., 2013). Moradi and Taleshi, 2019) بر روی گیاه ماش (*Vigna radiate* L. نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف در شرایط عدم مصرف کود دامی گاوی به دست آمد و با مصرف ۱۰ تن در هکتار کود دامی از تعداد آن کاسته شد. هر یک از کودهای روی و سیلیسیم به‌تنهایی توانستند تعداد دانه در سنبله را افزایش دهند که این افزایش با کاربرد نانوذرات به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. اما افزایش حداکثری تعداد دانه در سنبله با کاربرد همزمان این دو نوع کود با هر فرمی (نانو و خاک‌مصرف) به‌دست آمد. به‌طوری که حداکثر تعداد دانه در سنبله در تیمارهای نانوآکسید سیلیسیم + سولفات روی، نانوآکسید سیلیسیم + نانوآکسید روی، سیلیکات پتاسیم + سولفات روی و سیلیکات پتاسیم + نانوآکسید روی مشاهده شد که به‌ترتیب ۲۵/۳، ۲۵/۲، ۲۴/۸ و ۲۴/۷ درصد در مقایسه با عدم مصرف رشد نشان دادند (جدول ۶). روی نقش کلیدی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، کنترل هورمون‌های رشد مختلف، افزایش فعالیت آنزیم‌ها،

و افزایش طول میانگرمه می‌شود (Raeesi Sadati et al., 2021). دیگر مشاهدات نشان داد که کاربرد سولفات روی خاک‌مصرف (Shahmardan et al., 2022) و محلول‌پاشی نانوآکسید روی (Raeesi Sadati et al., 2021) اثر مثبت و معنی‌داری بر افزایش ارتفاع بوته داشتند. عدم پاسخ ارتفاع بوته گندم به کوددهی سیلیکونی توسط سایر محققان گزارش شده است (Sarto et al., 2014). توضیح احتمالی این نتیجه علاوه بر منبع کود سیلیکون می‌تواند چنین باشد که کاربرد سیلیسیم ممکن است برای گونه‌هایی از گندم که بلندتر و مستعد خوابیدگی هستند، مفید باشد (Walsh et al., 2018).

در مطالعه حاضر، مقادیر بالاتر طول سنبله، تعداد سنبله در سنبله و تعداد دانه در سنبله با عدم کاربرد کود گاوی به‌دست آمد. در حالی که وزن هزار دانه به‌خاطر اینکه در کنترل خصوصیات ژنتیکی می‌باشد کمتر تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت (Nyborg and Henning, 1969) که در تطابق با یافته‌های آتمن و همکاران (Atman et al., 2018) می‌باشد. یافته‌ها نشان داد که طول سنبله در تیمار عدم مصرف کود گاوی به‌طور معنی‌داری بیشتر (با اختلاف ۰/۷ سانتی‌متر) از تیمار مصرف کود گاوی بود (جدول ۶). نتایج مشابهی توسط دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2014) ارایه شد به‌طوری که دریافتند طول سنبله با کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود گاوی تفاوت معنی‌داری با شاهد (عدم مصرف) نداشت و با افزایش مصرف تا ۳۰ تن در هکتار از طول سنبله کاسته شد. نتایج اثر متقابل سه گانه نیز نشان داد که حداکثر تعداد سنبله در سنبله در سال اول با عدم مصرف کود گاوی و کاربرد سولفات روی (۲۰/۶۷ سنبله) به‌دست آمد که از نظر آماری

نشان دهد. حداکثر عملکرد بیولوژیک با کاربرد نانواکسیدسیلیسیم + نانواکسیدروی به دست آمد که به میزان ۵/۱ درصد نسبت به شاهد یا عدم کاربرد کود افزایش نشان داد. این تغییرات تنها به خاطر تأثیر تیمار روی و سیلیسیم بر عملکرد دانه بود به طوری که مقدار عملکرد بیولوژیک همگام با افزایش عملکرد دانه افزایش یافت. دیگر مستندات نیز یک رابطه خطی میان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را نشان دادند (Abdoli et al., 2014).

اثر متقابل کود دامی × روی و سیلیسیم نشان داد که کاربرد هر یک از کودهای روی و سیلیسیم به صورت انفرادی یا مرکب، باعث بهبود عملکرد دانه به ویژه در شرایط عدم مصرف کود گاوی شد، اما کارایی این کودها تحت شرایط مصرف کود گاوی کاهش یافت (شکل ۲). کاهش میزان عملکرد دانه با مصرف کود آلی به دلیل محدودیت‌هایی می‌باشد که این نوع کود برای گیاه ایجاد می‌کند. این محدودیت‌ها به خاطر افزایش هدایت الکتریکی خاک (Marcote et al., 2001) و رقابت بین ریزموجودات تجزیه‌کننده مواد آلی و گیاه برای مصرف نیتروژن (Lal, 1995) ایجاد می‌شود. یزدانی‌بیوکی و همکاران (Yazdani Biuki et al., 2010) با بررسی انواع کودهای دامی و شیمیایی دریافتند که حداقل عملکرد دانه با کاربرد کود گاوی به دست آمد که در مقایسه با عدم کاربرد کود ۳۰ درصد کاهش نشان داد. در مطالعه‌ای دیگر، عظیم‌زاده (Azimzadeh, 2017) نشان داد که کاربرد مقادیر بیشتر کود گاوی اثری کاهنده بر عملکرد دانه داشت به طوری که با افزایش مصرف کود گاوی از ۲۰ به ۳۳ و ۵۰ تن در هکتار، عملکرد دانه به ترتیب ۱۰/۶ و ۱۵/۲ درصد کاهش یافت.

و تولید و رسیدن بذر دارد (Laware and Raskar, 2014). سیلیسیم نیز با افزایش کلروفیل، فعالیت آنزیم روبیسکو و تعداد و سطح برگ باعث افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش میزان کربوهیدرات و ذخایر فتوسنتزی می‌شود (Savvas and Ntatsi, 2015). گزارش‌ایی مبنی بر افزایش تعداد دانه در سنبله گندم با کاربرد روی و سیلیسیم در مقایسه با عدم کاربرد ارایه شده است (Mohammadi Kale Sarlo and Seyd Sharifi, 2019; Seyed Hayat Gheyb et al., 2022). بر اساس دیگر مستندات، کودهای روی و سیلیسیم با هر فرمی (نانو و خاک مصرف) باعث افزایش تعداد دانه در خوشه برنج (*Oryza sativa* L.) در مقایسه با عدم مصرف شد (Kheyri et al., 2019).

بر اساس نتایج ارایه شده در جدول ۶، میزان عملکرد دانه تحت شرایط عدم مصرف کود گاوی به خاطر افزایش تعداد سنبله در سنبله و تعداد دانه در سنبله به میزان ۱۶/۰ درصد در مقایسه با تیمار مصرف کود گاوی بالاتر بود. از طرفی عملکرد کاه با مصرف کود گاوی تا ۷/۳ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف کود گاوی افزایش یافت که به خاطر افزایش ارتفاع بوته بود. به واسطه این دو ویژگی، در تشکیل عملکرد بیولوژیک تعادلی ایجاد شد که باعث غیر معنی‌دار شدن این صفت تحت تیمار کود دامی شد که با یافته‌های یزدانی‌بیوکی و همکاران (Yazdani Biuki et al., 2010) مطابقت دارد. آنها دریافتند که اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد بیولوژیک بین کاربرد کود گاوی و عدم کاربرد وجود نداشت. علی‌رغم غیر معنی‌دار بودن عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر تیمار روی و سیلیسیم، آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار توانست اختلافی را در سطوح مختلف تیماری

نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد دانه در شرایط عدم مصرف کود گاوی و با کاربرد سیلیکات پتاسیم + نانو اکسید روی (۴۴۲۳ کیلوگرم در هکتار) و سولفات روی (۴۳۹۴ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (شکل ۲). عنصر روی عملکرد را با ایجاد رشد رویشی مناسب، افزایش غلظت کلروفیل، بهبود سیستم فتوسنتزی (Abbasi et al., 2019; Dewal and Pareek, 2004) و افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم (Kuchak Dezfuli et al., 2019) افزایش می‌دهد. کاربرد سیلیس نیز فتوسنتز و عملکرد را بهبود می‌بخشد (Zargar et al., 2019) که به خاطر رسوب سیلیس در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می‌باشد (Maghsoudi et al., 2013). مشاهدات نشان داد که کاربرد روی سبب افزایش عملکرد گندم شد و این افزایش در کاربرد خاکی بیشتر از کاربرد برگی بود (Damary et al., 2017). سایر مستندات نشان دادند که محلول-پاشی روی باعث افزایش عملکرد دانه در گندم شد (Ma et al., 2017; Saha et al., 2015). دیگر محققان دریافته‌اند که حداکثر عملکرد دانه گندم طی دو سال آزمایش با کاربرد سیلیکات پتاسیم به دست آمد (Salem et al., 2022).

شاخص برداشت تابعی از دو ویژگی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک می‌باشد یعنی با تغییر این دو صفت، شاخص برداشت نیز تغییر خواهد کرد به طوری که با عملکرد دانه رابطه مستقیم و با عملکرد بیولوژیک رابطه عکس دارد (Mousavian et al., 2023). در تحقیق حاضر، شاخص برداشت بیشتر تحت تأثیر عملکرد دانه بود به طوری که در تیمار عدم مصرف کود گاوی (۱۶/۰ درصد) که عملکرد دانه بالاتر بود، شاخص برداشت نیز با

اختلاف ۵/۶۳ درصد در مقایسه با تیمار کاربرد کود گاوی بیشتر بود. هر چند روند تغییرات شاخص برداشت تحت تیمار روی و سیلیسیم نیز با عملکرد دانه هماهنگ بود، اما نتایج این تغییرات غیرمعنی‌دار شد (جدول ۶). به طور مشابه، سایر مطالعات نشان دادند که علی‌رغم عملکرد دانه، اختلاف معنی‌داری در شاخص برداشت بین عدم کاربرد سیلیکون و محلول پاشی سیلیکون در مراحل خوشه‌آغازین و گلدهی وجود نداشت (Ning et al., 2023). نتایج مشابهی نیز با محلول پاشی روی در مراحل مختلف فنولوژیکی، توسط سایر محققان به دست آمد (Abdoli et al., 2014).

صفات کیفی

نتایج ثبت شده در جدول ۷ نشان می‌دهد که اثر ساده تیمار روی و سیلیسیم بر صفات کیفی مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر ساده کود دامی و اثر متقابل کود دامی × روی و سیلیسیم به ترتیب در سطح احتمال یک و ۵ درصد بر محتوای پروتئین دانه معنی‌دار شدند. هیچ یک از صفات کیفی مورد مطالعه تحت تأثیر اثر ساده سال و اثرات متقابل وابسته به سال قرار نگرفتند.

یافته‌های ما نشان داد که کاربرد سیلیس باعث بهبود غلظت سیلیس دانه شد و از این نظر، نانوذرات سیلیسیم برتری غیرمعنی‌داری نسبت به سیلیسیم خاک مصرف نشان داد. حداکثر غلظت سیلیس دانه تحت تیمارهای نانو اکسید سیلیسیم، نانو اکسید سیلیسیم + سولفات روی و نانو اکسید سیلیسیم + نانو اکسید روی به دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمارهای سیلیکات پتاسیم + نانو اکسید روی، سیلیکات پتاسیم + سولفات روی و سیلیکات پتاسیم نشان ندادند.

غلظت سیلیس دانه تحت تیمارهای یادشده به ترتیب با اختلاف ۰/۵۱۰، ۰/۵۰۸، ۰/۵۰۸، ۰/۲۷۷، ۰/۲۷۴ و ۰/۲۷۳ درصد در مقایسه با عدم مصرف سیلیسیم افزایش نشان داد (جدول ۸). وقتی سیلیس توسط گیاه جذب می شود از طریق تجزیه بیولوژیک و فعالیت های آنزیمی شکسته شده و از بافت های گیاهی خارج نمی شود. به همین خاطر، میزان سیلیس در بافت های گیاهی افزایش می یابد (Hajipour et al., 2019). نتایج سایر مطالعات نشان داد که کاربرد سیلیسیم با هر منبعی توانست محتوای سیلیس در گیاه گندم را افزایش دهد (Salem et al., 2022). با توجه به قطر نانوذرات انتظار می رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیش تر از ذرات معمول باشد (Torabian and Zahedi, 2013) که این موضوع در گزارشات صابریان رنجبر و همکاران (Saberian-Ranjbar et al., 2019) نیز اثبات شده است به طوری که دریافتند غلظت سیلیسیم در اندام هوایی گندم با کاربرد نانوذرات سیلیسیم نسبت به سطوح مختلف سیلیکات پتاسیم بالاتر بود.

جدول ۸ نشان می دهد که کاربرد روی، غلظت روی دانه را بهبود بخشید و از این حیث، نانوذرات روی برتری غیر معنی داری در مقایسه با روی خاک مصرف داشت. حداکثر غلظت روی دانه تحت تیمارهای نانواکسید سیلیسیم + نانواکسید روی، سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی و نانواکسید روی به دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی داری با تیمارهای نانواکسید سیلیسیم + سولفات روی، سولفات روی و سیلیکات پتاسیم + سولفات روی نشان ندادند. غلظت روی دانه تحت تیمارهای فوق به ترتیب به میزان ۱۳/۷، ۱۳/۲، ۷/۴، ۶/۹ و ۶/۹ درصد در مقایسه با

عدم مصرف کود افزایش یافت. تمام روش های کاربرد روی (کاربرد خاک، محلول پاشی، پرایمر بذر و پوشش بذر) باعث افزایش غلظت روی دانه می شود (Farooq et al., 2018). طولایی و همکاران (Toulabi et al., 2021) دریافتند که محتوای روی دانه گندم به طور معنی داری با محلول پاشی سولفات روی افزایش یافت. سایر مستندات نشان داده اند که محلول پاشی نانواکسید روی و سولفات روی خاک مصرف، محتوای روی دانه را در گیاه گندم (به ترتیب ۱۴/۷ و ۴/۰ درصد) و گیاه برنج (۳۳/۲ و ۲۶/۶ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد روی افزایش داد (Kheyri et al., 2019; Abdollahi et al., 2018).

نتایج اثر متقابل دو گانه نشان می دهد که مصرف کود گاوی باعث بهبود محتوای پروتئین دانه می شود. بالاترین درصد پروتئین دانه در شرایط مصرف کود گاوی و به ترتیب با تیمارهای نانواکسید روی (۱۵/۰۳ درصد)، نانواکسید سیلیسیم + نانواکسید روی (۱۴/۸۸ درصد) و سولفات روی (۱۴/۷۸ درصد) به دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی داری با تیمارهای سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی و نانواکسید سیلیسیم + سولفات روی در شرایط مشابه مصرف کود گاوی (۱۴/۲۲ و ۱۳/۶۳ درصد) نشان نداد. مجموع نتایج نیز نشان می دهد که کاربرد روی با هر منبع کودی اثری مثبت بر بهبود محتوای پروتئین دانه گندم دارد (شکل ۳). کودهای حیوانی ذخیره نیتروژن قابل جذب خاک را افزایش داده و این امر منجر به عرضه بیشتر نیتروژن قابل جذب در محیط ریشه گندم شده و از این نظر غلظت نیتروژن و یا میزان پروتئین خام دانه گندم را نسبت به شاهد بیشتر می کند (Majidi and Shahbazi, 2020). روی نیز نقش

مهمی در پروتئین‌سازی و تولید اسیدهای آمینه دارد و عامل انتقال بهتر پروتئین به دانه گندم می‌باشد (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که محلول‌پاشی روی و کاربرد کود آلی، هریک به‌تنهایی و به‌صورت همزمان توانستند درصد پروتئین دانه گندم را افزایش دهند (Toulabi *et al.*, 2021). مطالعه‌ای دیگر نشان داد که با افزایش میزان مصرف سولفات روی خاک‌مصرف، محتوای پروتئین دانه گندم در مقایسه با عدم مصرف افزایش یافت (Mousavian *et al.*, 2023).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اثر سال بر هیچ یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نشد. کاربرد کود گاوی باعث افزایش ارتفاع بوته و عملکرد کاه شد. در حالی‌که مقادیر عملکرد دانه و اجزای مرتبط (طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله) در شرایط عدم مصرف کود دامی بالاتر بودند که در نتیجه شاخص برداشت بالاتری نیز به‌دست آمد. کودهای روی و

سیلیسیم در بهبود عملکرد دانه مؤثر بودند. با این حال حداکثر عملکرد دانه در شرایط عدم مصرف کود گاوی و با تیمارهای سولفات روی و سیلیکات پتاسیم + نانوآکسیدروی مقدور شد. غلظت سیلیسیم و روی دانه تحت تأثیر کود دامی قرار نگرفتند اما حداکثر غلظت سیلیسیم با کاربرد نانوآکسیدسیلیسیم به‌تنهایی یا همزمان با کاربرد روی به‌دست آمد. غلظت روی دانه نیز با کاربرد نانوآکسیدروی به‌صورت جداگانه یا همزمان با کاربرد سیلیسیم به حداکثر مقدار خود رسید. حداکثر پروتئین دانه، در شرایط مصرف کود گاوی و با تیمارهای سولفات روی، نانوآکسیدروی و نانوآکسیدسیلیسیم + نانوآکسیدروی به‌دست آمد. کاربرد تنها سولفات روی یا کاربرد ترکیبی سیلیکات پتاسیم + نانوآکسید روی برای بهبود عملکرد دانه پیشنهاد می‌شود. کاربرد کود گاوی توأم با هر یک از تیمارهای سولفات روی، نانوآکسید روی و نانوذرات سیلیسیم + روی برای افزایش پروتئین دانه توصیه می‌شود.

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی محل آزمایش در طول دوره رشد گندم

Table 1- Climate characteristics of the test site during the wheat growth period

ماه‌های سال Months of the year	میانگین درجه حرارت ماهانه (°C) Average monthly temperature						مجموع ساعات آفتابی Total sunny hours		مجموع بارندگی Total rainfall	
	حداقل Minimum		حداکثر Maximum		متوسط Average		(h)		(mm)	
	۱۳۹۷-۹۸ 2018-19	۱۳۹۸-۹۹ 2019-20	۱۳۹۷-۹۸ 2018-19	۱۳۹۸-۹۹ 2019-20	۱۳۹۷-۹۸ 2018-19	۱۳۹۸-۹۹ 2019-20	۱۳۹۷-۹۸ 2018-19	۱۳۹۸-۹۹ 2019-20	۱۳۹۷-۹۸ 2018-19	۱۳۹۸-۹۹ 2019-20
آبان- November	12.3	11.3	20.5	19.8	16.4	15.5	127.4	128.0	57.8	228.4
آذر- December	9.1	6.4	16.9	15.8	13.0	11.1	98.3	140.4	65.7	28.0
دی- January	4.8	5.5	15.7	15.3	10.2	10.4	133.8	132	128.3	44.9
بهمن- February	5.6	3.8	15.0	15.5	10.3	9.7	132.2	156.4	106.5	129.2
اسفند- March	6.7	7.3	17.1	16.5	11.5	11.5	127.6	106.1	170.7	103.4
فروردین- April	10.6	9.8	18.8	18.2	14.7	14.0	131.5	121.4	78.2	80.8
اردیبهشت- May	15.3	14.8	25.8	25.0	20.6	19.9	200.6	182.5	51.1	33.4
خرداد- June	21.4	20.3	31.7	31.7	26.5	26.0	272.4	297.0	1.0	4.0

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از کاشت (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری)

Table 2- Physical and chemical characteristics of the soil of the test site before planting (0 to 30 cm depth)

ویژگی خاک Soil characteristics	هدایت الکتریکی Electrical conduction	اسیدیته Acidity	ماده آلی Organic matter	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total nitrogen	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium	روی Zinc	بافت خاک Soil texture
واحد	ds/m	-	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-
۱۳۹۷-۹۸ 2018-19	0.68	8.3	1.5	0.87	0.084	8	140	1.2	C-L
۱۳۹۸-۹۹ 2019-20	0.62	7.8	1.4	0.81	0.079	9	165	1.4	C-L

جدول ۳- مشخصات نانوذرات مورد مطالعه

Table 3- Characteristics of studied nanoparticles

ویژگی ها Characteristics	فرمول شیمیایی chemical formula	خلوص Purity	میانگین اندازه ذرات Average particle size	تراکم واقعی True Density	سطح ویژه مخصوص Special special level	رنگ Color
واحد	-	%	nm	g/cm ³	m ² /g	-
دی اکسید سیلیسیم Silicon Dioxide	SiO ₂	>99%	20-30	2.4	180-600	سفید white
اکسید روی Zinc Oxide	ZnO	>99%	10-30	5.606	20-60	سفید white

جدول ۴- تجزیه مرکب آزمایش های دو عاملی در قالب کرت های خرد شده

Table 4- Combined variance analysis of two-factor experiments in the form of split plots

منابع تغییرات	Sources of variation	عبارات مدل خطی Linear model expressions	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات mean squares		F
				مشاهده شده Observed	مورد انتظار Estimated	
سال	Year	Y_g	$N1=y-1$	M1		
تکرار (سال)	Replication (year)	$R_{h(g)}$	$N2=y(r-1)$	M2		
کود دامی	Manure	A_i	$N3=(a-1)$	M3	$\delta^2_e + b\delta^2_y + br\delta^2_{AY} + byr\phi A$	M3/M4
سال × کود دامی	Year × manure	$(AY)_{ig}$	$N4=(a-1)(y-1)$	M4	$\delta^2_e + b\delta^2_y + br\delta^2_{AY}$	M4/M5
خطای (a)	Error (a)	$\delta_{h(g)i}$	$N5=y(a-1)(y-1)$	M5	$\delta^2_e + b\delta^2_y$	M5/M11
روی و سیلیسیم	Zinc and silicon	B_j	$N6=(b-1)$	M6	$\delta^2_e + ar\delta^2_{BY} + ayr\phi B$	M6/M7
سال × روی و سیلیسیم	Year x zinc and silicon	$(BY)_{ij}$	$N7=(b-1)(y-1)$	M7	$\delta^2_e + ar\delta^2_{BY}$	M7/M11
کود دامی × روی و سیلیسیم	Manure × zinc and silicon	$(AB)_{ij}$	$N9=(a-1)(b-1)$	M9	$\delta^2_e + r\delta^2_{ABY} + yr\phi AB$	M9/M10
سال × کود دامی × روی و سیلیسیم	Year × manure × zinc and silicon	$(ABY)_{ijg}$	$N10=(a-1)(b-1)(y-1)$	M10	$\delta^2_e + r\delta^2_{ABY}$	M10/M11
خطای (b)	Error (b)	$\varepsilon_{h(g)ij}$	$N11=ay(b-1)(r-1)$	M11	δ^2_e	
$\phi A = \sum A_i^2 / (a-1)$		$\phi B = \sum B_j^2 / (b-1)$		$\phi AB = \sum \sum AB_{ij}^2 / [(a-1)(b-1)]$		

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی مورد مطالعه

Table 5- Combined variance analysis of studied agronomic traits

وزن هزار دانه	تعداد دانه	تعداد سنبله	در سنبله	تعداد سنبله در سنبله	طول سنبله	ارتفاع بوته	درجه آزادی	منابع تغییرات S.O.V.
Thousand Grain Weight	Number of seeds/spike	Number of spikelets/spike	Spike length	Plant height	df	S.O.V.		
5.113 ^{ns}	8.256 ^{ns}	0.954 ^{ns}	0.068 ^{ns}	12.68 ^{ns}	1	سال	1	Year
1.469	11.89	0.759	1.022	94.45	4	تکرار (سال)	4	Replication (year)
4.679 ^{ns}	348.55*	30.77**	15.04**	784.1*	1	کود دامی	1	Manure
10.29 ^{ns}	9.505 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.205 ^{ns}	2.083 ^{ns}	1	سال × کود دامی	1	Year × manure
2.573	16.81	0.781	0.445	51.81	4	خطا	4	error
1.128 ^{ns}	186.25**	0.070 ^{ns}	0.113 ^{ns}	81.82*	8	روی و سیلیسیم	8	Zinc and silicon
1.331 ^{ns}	13.15 ^{ns}	0.027 ^{ns}	0.022 ^{ns}	2.259 ^{ns}	8	سال × روی و سیلیسیم	8	Year x zinc and silicon
2.140 ^{ns}	11.22 ^{ns}	1.689 ^{ns}	0.227 ^{ns}	31.13 ^{ns}	8	کود دامی × روی و سیلیسیم	8	Manure × zinc and silicon
0.936 ^{ns}	15.10 ^{ns}	2.285*	0.036 ^{ns}	5.042 ^{ns}	8	سال × کود دامی × روی و سیلیسیم	8	Year × manure × zinc and silicon
3.575	16.92	0.955	0.418	30.70	64	خطا	64	error
4.16	10.52	5.35	6.37	5.40	-	ضریب تغییرات (%)	-	C.V. (%)

ns, * و **: به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۵-

Table 5- Continued

شاخص برداشت	عملکرد دانه	عملکرد کاه	عملکرد بیولوژیک	درجه آزادی	منابع تغییرات S.O.V.
harvest index	grain yield	Straw yield	Biological yield	df	S.O.V.
0.044 ^{ns}	17787.0 ^{ns}	114725.9 ^{ns}	352.08 ^{ns}	1	سال
68.43	615215.7	1171256.9	708692.6	4	تکرار (سال)
855.54**	12495682.4**	11802155.6**	15528.0 ^{ns}	1	کود دامی
8.085 ^{ns}	87837.0 ^{ns}	18096.3 ^{ns}	30233.8 ^{ns}	1	سال × کود دامی
6.486	215012.1	542003.2	1279165.4	4	خطا
6.711 ^{ns}	319112.7**	53101.4 ^{ns}	407736.7 ^{ns}	8	روی و سیلیسیم
1.463 ^{ns}	13921.7 ^{ns}	75709.0 ^{ns}	23767.2 ^{ns}	8	سال × روی و سیلیسیم
5.608 ^{ns}	164513.4**	523209.4 ^{ns}	1126942.1 ^{ns}	8	کود دامی × روی و سیلیسیم
2.567 ^{ns}	37499.2 ^{ns}	67415.3 ^{ns}	122773.6 ^{ns}	8	سال × کود دامی × روی و سیلیسیم
7.837	50831.7	281231.1	642081.4	64	خطا
8.99	5.76	6.09	6.36	-	ضریب تغییرات (%)

ns, * و **: به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین برخی از صفات زراعی گندم تحت اثرات ساده کودهای دامی، روی و سیلیسیم برای دو سال متوالی
Table 6- Average comparison of some agronomic traits of wheat under the simple effects of manure and zinc and silicon fertilizers for two consecutive years

وزن هزار دانه Thousand Grain Weight (g)	تعداد دانه در سنبله Number of seeds/spike	تعداد سنبله در سنبله Number of spikelets/spike	طول سنبله Spike length (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments
45.62a	38.83a	18.16a	10.18a	102.2a	۱۳۹۷-۱۳۹۸ 2018-19
45.19a	39.38a	18.35a	10.13a	102.9a	۱۳۹۷-۱۳۹۹ 2019-20
45.20a	40.90a	18.79a	10.53a	99.85b	عدم مصرف No consumption
45.61a	37.31b	17.72b	9.781b	105.2a	کود گاوی Cow manure
45.85a	31.99d	18.30a	10.18a	99.92b	عدم مصرف No consumption
45.29a	35.67c	18.14a	10.15a	104.9a	سولفات روی Zinc sulfate
45.81a	35.68bc	18.30a	10.24a	99.33b	سیلیکات پتاسیم Potassium silicate
45.07a	39.03b	18.16a	10.33a	104.9a	نانو اکسید روی Zinc nano oxide
45.32a	39.03b	18.36a	10.06a	98.75b	نانو اکسید سیلیسیم Silicon nano oxide
45.51a	42.54a	18.25a	10.09a	105.0a	سیلیکات پتاسیم + سولفات روی Potassium silicate + zinc sulfate
45.10a	42.46a	18.30a	10.23a	102.5ab	سیلیکات پتاسیم + نانو اکسید روی Potassium silicate + zinc nano oxide
45.62a	42.81a	18.31a	10.05a	104.9a	نانو اکسید سیلیسیم + سولفات روی Silicon nano oxide + zinc sulfate
45.08a	42.74a	18.20a	10.07a	102.7ab	نانو اکسید سیلیسیم + نانو اکسید روی Silicon nano oxide + zinc nano oxide

میانگین‌ها با یک حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.
Means with the same letter have no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

ادامه جدول ۶-
Table 6- Continued

شاخص برداشت harvest index (%)	عملکرد دانه grain yield (kg/ha)	عملکرد کاه Straw yield (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg/ha)	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments
31.13a	3899a	8740a	12593a	۱۳۹۷-۱۳۹۸ 2018-19
31.17a	3924a	8675a	12596a	۱۳۹۷-۱۳۹۹ 2019-20
33.97a	4252a	8377b	12583a	عدم مصرف No consumption
28.34b	3571b	9038a	12607a	کود گاوی Cow manure
30.20a	3590d	8622a	12212b	عدم مصرف No consumption
30.60a	3831c	8670a	12501ab	سولفات روی Zinc sulfate
30.44a	3832c	8759a	12585ab	سیلیکات پتاسیم Potassium silicate
30.69a	3893bc	8792a	12685ab	نانو اکسید روی Zinc nano oxide
30.83a	3848bc	8628a	12475ab	نانو اکسید سیلیسیم Silicon nano oxide
31.68a	4017ab	8666a	12675ab	سیلیکات پتاسیم + سولفات روی Potassium silicate + zinc sulfate
31.95a	4029ab	8801a	12663ab	سیلیکات پتاسیم + نانو اکسید روی Potassium silicate + zinc nano oxide
31.75a	4018ab	8712a	12689ab	نانو اکسید سیلیسیم + سولفات روی Silicon nano oxide + zinc sulfate
32.23a	4148a	8719a	12867a	نانو اکسید سیلیسیم + نانو اکسید روی Silicon nano oxide + zinc nano oxide

میانگین‌ها با یک حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.
Means with the same letter have no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی مورد مطالعه

Table 7- Combined variance analysis of studied qualitative traits

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	غلظت سیلیس دانه Seed silica concentration	غلظت روی دانه Seed zinc concentration	محتوای پروتئین دانه Seed protein content
Year سال	1	0.003 ^{ns}	14.69 ^{ns}	2.058 ^{ns}
Replication (year) تکرار (سال)	4	0.091	10.09	4.001
Manure کود دامی	1	0.002 ^{ns}	1.270 ^{ns}	217.40 ^{**}
Year × manure سال × کود دامی	1	0.028 ^{ns}	4.356 ^{ns}	0.001 ^{ns}
error خطا	4	0.181	16.80	1.271
Zinc and silicon روی و سیلیسیم	8	0.582 ^{**}	77.96 ^{**}	37.67 ^{**}
Year x zinc and silicon سال × روی و سیلیسیم	8	0.006 ^{ns}	3.520 ^{ns}	1.419 ^{ns}
Manure × zinc and silicon کود دامی × روی و سیلیسیم	8	0.044 ^{ns}	17.71 ^{ns}	3.437 [*]
سال × کود دامی × روی و سیلیسیم	8	0.101 ^{ns}	2.659 ^{ns}	0.155 ^{ns}
Year × manure × zinc and silicon				
error خطا	64	0.109	19.96	1.626
C.V. (%) ضریب تغییرات	-	17.05	10.96	10.82

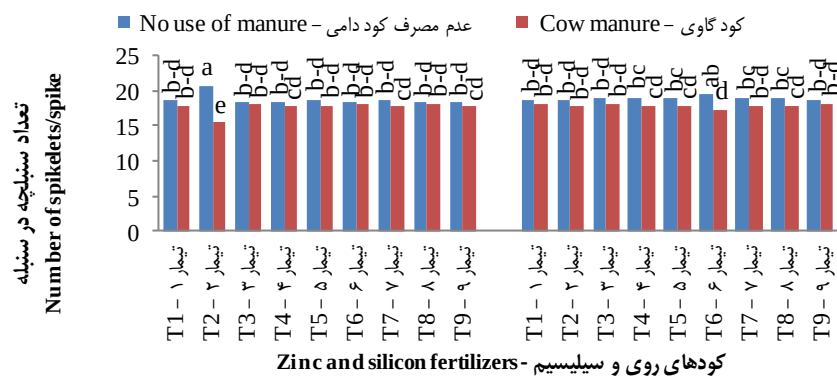
ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.
ns, * and **: به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۸- مقایسه میانگین غلظت‌های سیلیس و روی دانه تحت اثر ساده روی و سیلیسیم برای دو سال متوالی

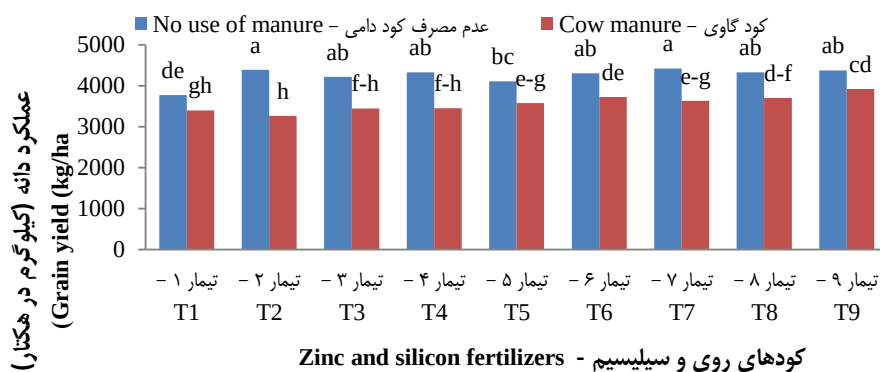
Table 8- Average comparison of concentrations of silica and zinc in seeds under the simple effect of zinc and silicon for two consecutive years

Experimental treatments	تیمارهای آزمایشی	غلظت سیلیس دانه Seed silica oncentration (%)	غلظت روی دانه Seed zinc concentration (mg.kg ⁻¹)
Year سال			
2018-19	۹۸-۱۳۹۷	1.940a	40.39a
2019-20	۹۹-۱۳۹۸	1.929a	41.13a
Manure کود دامی			
No consumption عدم مصرف		1.930a	40.87a
Cow manure کود گاوی		1.938a	40.65a
Zinc and silicon fertilizers کودهای روی و سیلیسیم			
No consumption عدم مصرف		1.673c	37.81b
Zinc sulfate سولفات روی		1.681bc	40.61ab
Potassium silicate سیلیکات پتاسیم		1.946ab	37.97b
Zinc nano oxide نانو اکسید روی		1.666c	43.54a
Silicon nano oxide نانو اکسید سیلیسیم		2.183a	37.82b
سیلیکات پتاسیم + سولفات روی		1.947ab	40.60ab
Potassium silicate + zinc sulfate			
سیلیکات پتاسیم + نانو اکسید روی		1.950ab	43.83a
Potassium silicate + zinc nano oxide			
نانو اکسید سیلیسیم + سولفات روی		2.181a	40.81ab
Silicon nano oxide + zinc sulfate			
نانو اکسید سیلیسیم + نانو اکسید روی		2.181a	43.87a
Silicon nano oxide + zinc nano oxide			

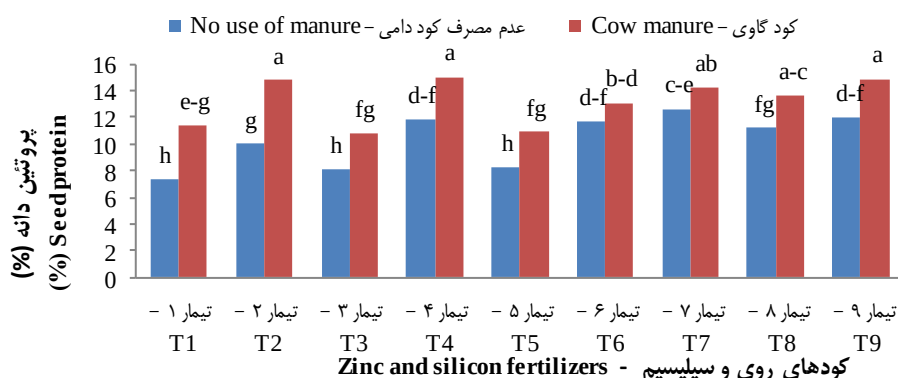
میانگین‌ها با یک حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) فاقد اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.
Means with the same letter have no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.



شکل ۱- تعداد سنبله در سنبله تحت اثر متقابل سال × کود دامی × روی و سیلیسیم
Figure 1- The number of spikelets per spike under the interaction effect of year × manure × zinc and silicon



شکل ۲- عملکرد دانه تحت اثر متقابل کود دامی × روی و سیلیسیم
Figure 2- Grain yield under the interaction effect of manure × zinc and silicon



شکل ۳- محتوای پروتئین دانه تحت اثر متقابل کود دامی × روی و سیلیسیم
Figure 4- Seed protein content under the interaction effect of manure × zinc and silicon

میانگین‌ها با یک حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.
 Means with the same letter have no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

تیمار ۱: عدم مصرف روی و سیلیسیم؛ تیمار ۲: سولفات روی؛ تیمار ۳: سیلیکات پتاسیم؛ تیمار ۴: نانو اکسید روی؛ تیمار ۵: نانو اکسید سیلیسیم؛ تیمار ۶: سیلیکات پتاسیم + سولفات روی؛ تیمار ۷: سیلیکات پتاسیم + نانو اکسید روی؛ تیمار ۸: نانو اکسید سیلیسیم + سولفات روی و تیمار ۹: نانو اکسید سیلیسیم + نانو اکسید روی.
 T1: No zinc and silicon consumption; T2: Zinc sulfate; T3: Potassium silicate; T4: Zinc nano oxide; T5: Silicon nano oxide; T6: Potassium silicate + zinc sulfate; T7: Potassium silicate + zinc nano oxide; T8: Silicon nano oxide + zinc sulfate and T9: Silicon nano oxide + zinc nano oxide.

References

منابع مورد استفاده

- Abbasi, N., J. Cheraghi, and S. Hajinia. 2019. Effect of iron and zinc micronutrient foliar application as nano and chemical on physiological traits and grain yield of two bread wheat cultivars. *Crop Physiology Journal*. 11(43): 85-104. (In Persian).
- Abdoli, M., E. Esfandiari, S.B. Mousavi, and B. Sadeghzadeh. 2014. Effects of foliar application of zinc sulfate at different phenological stages on yield formation and grain zinc content of bread wheat (cv. Kohdasht). *Azarian Journal of Agriculture*. 1(1): 11-16.
- Abdollahi, A., M. Norouzi Masir, M. Taghavi Zahedkolaei, and A.A. Moezzi. 2018. The effectiveness of synthesized ZnO nanoparticles on Zn uptake and some growth indices of wheat. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 8(1): 125-141. (In Persian).
- Amanullah, I., M.S. Alwahibi, M.S. Elshikh, J. Alkahtani, A. Muhammad, S. Khalid, Imran, M. Ahmad, N. Khan, S. Ullah, and I. Ali. 2020. Phosphorus and zinc fertilization improve zinc biofortification in grains and straw of coarse vs. fine rice genotypes. *Agronomy*. 10(8): 1155.
- Atman, B. Bakrie, and R. Indrasti. 2018. Effect of cow manure dosages as organic fertilizer on the productivity of organic rice in West Sumatra, Indonesia. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*. 3(2): 506-511.
- Azad, Md.A.K., T. Ahmed, E-J Eaton, and M.M. Hossain. 2022. Organic amendments with poultry manure and cow dung influence the yield and status of nutrient uptake in wheat (*Triticum aestivum*). *American Journal of Plant Sciences*. 13(7): 994-1005.
- Azimzadeh, S.M. 2017. Effect of organic fertilizers on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorious* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 15(3): 575-587. (In Persian).
- Cakmak, I., and U.B. Kutman. 2017. Agronomic biofortification of cereals with zinc: A review. *European Journal of Soil Science*. 69: 172-180.
- Dahmardeh, M., I. Khammari, M. Dahmardeh, and A. Asgharzadeh. 2014. Effects of *Azospirillum* and *Azotobacter* on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under various levels of cow manure application. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 45(1): 65-72. (In Persian).
- Dallagnol, L.J., F.A. Rodrigues, F.M. Da Matta, M.V.B. Mielli, and S.C. Pereira. 2011. Deficiency in silicon uptake affects cytological, physiological, and biochemical events in the rice-Bipolaris *oryzae* interaction. *Phytopathology*. 101: 92-104.
- Damary, J., M. Fretes, A. Diosnel, and M. Milciades. 2017. Wheat response to the application of zinc and boron. *International Journal of Current Research in Life Sciences*. 6(12): 765-767.
- Dewal, G.S., and R.G. Pareek. 2004. Effect of phosphorus, sulphur and zinc on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal of Agronomy*. 49(3): 160-162.
- Dorostkar, V., M. Afyuni, and A. Khoshgoftarmanesh. 2013. Effects of preceding crop residues on total and bio-available zinc concentration and phytic acid concentration in wheat grain. *Journal of Water and Soil Science*. 17(64): 81-93. (In Persian).

- Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Vol. 982. Soil and Water Res. Institute, Tehran. Iran. (In Persian)
- Falahi, H.A., and S. Khavarinejad 2017. Ehsan variety wheat, suitable for cultivation in Mazandaran province. Coordination management of agricultural promotion, Mazandaran Agriculture and Natural Resources Research and Education Center. (In Persian)
- Farooq, M., A. Ullah, A. Rehman, A. Nawaz, A. Nadeem, A. Wakeel, F. Nadeem, and K.H.M. Siddique. 2018. Application of zinc improves the productivity and biofortification of fine grain aromatic rice grown in dry seeded and puddled transplanted production systems. *Field Crops Research*. 216: 53-62.
- Gaur, S., J. Kumar, D. Kumar, D.K. Chauhan, S.M. Prasad, and P.K. Seivastava. 2020. Fascinating impact of silicon and silicon transporters in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 202: 110885.
- Hadi, H., R. Seyed Sharifi, and A. Namvar. 2016. Phytoprotectants and Abiotic Stresses. Urmia University press. 342 pp.
- Hajipour, H., Z. Jabbarzadeh, and M.H. Rasouli Sadaghiani. 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 Soil and Plant Interactions*. 10(1): 29-46. (In Persian).
- Halim, G., Y. Emam, and E. Shakeri. 2018. Evaluation of yield, yield components and stress tolerance indices in bread wheat cultivars at post-anthesis irrigation cut-off. *Journal of Crop Production and Processing*. 7(4): 121-134. (In Persian).
- Keshavarz Afshar, R., M.R. Chaichi, M.H. Assareh, M. Hashemi, and A. Liaghat. 2014. Interactive effect of deficit irrigation and soil organic amendments on seed yield and flavonolignan production of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.). *Industrial Crops and Products*. 58: 166-172.
- Kheirizadeh Arough, Y., R. Seyed Sharifi, M. Sedghi, and M. Barmaki. 2016. Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 44(1): 116-124.
- Kheyri, N., H. Ajam-Norouzi, H.R. Mobasser, and B. Torabi. 2018. Effect of different resources and methods of silicon and zinc application on agronomic traits, nutrient uptake and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*. 16(5): 5781-5798.
- Kheyri, N., H. Ajam-Norouzi, H.R. Mobasser, and B. Torabi. 2019. Effects of silicon and zinc nanoparticles on growth, yield, and biochemical characteristics of rice. *Agronomy Journal*. 111(6): 3084-3090.
- Kuchak Dezfuli, M., A. Shokuhfar, S. Lack, M. Alavifazel, and M. Mojaddam. 2019. The effect of potassium and zinc spraying time on grain yield, morphophysiological characteristics and the amount of elements in corn leaf under deficit irrigation conditions. *Crop Physiology Journal*. 11(44): 93-113. (In Persian).
- Lal, R. 1995. The role of residues management in sustainable agricultural systems. *Journal of Sustainable Agricultural*. 5(4): 51-78.

- Laware, S., and S. Raskar. 2014. Influence of zinc oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in onion. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*. 3(7): 874-881.
- Lotfi Jala Abadi, A., S.A. Siadat, A. Bakhsandeh, Gh. Fdathi, and K. Alemi Saied. 2013. Effect of chemical, organic and biological fertilizers systems on yield and yield components of wheat genotypes (*T. aestivum* and *T. durum*) in Ahvaz conditions. *Plant Productions*. 36(1): 103-116. (In Persian).
- Ma, D., D. Sun, C. Wang, H. Ding, H. Qin, J. Hou, X. Huang, Y. Xie, and T. Guo. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 8: 860.
- Madrid, F., R. Lopez, and F. Cabera. 2007. Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 119(3-4): 249-256.
- Maghsoudi, K., Y. Emam, and M. Pessarakli. 2013. Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*. 39(7): 1001-1015.
- Mahmoud soltani, S., M.M. Hanafi, A.W. Samsuri, and S. Kharidah. 2017. Lime and Zn interactions effects on yield, yield component, and quality of rice in Zn deficit tropical paddy soil. *Azarian Journal of Agriculture*. 4(5): 185-192.
- Majidi, A., and K. Shahbazi. 2020. Comparison of sheep and cow manures residual effects on some quantitative and qualitative traits of winter wheat. *Iranian Journal of Soil Research*. 34(2): 155-167. (In Persian).
- Marcote, I., T. Hernandez, C. Garcia, and A. Polo. 2001. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilisers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation. *Bioresource Technology*. 79 (2): 147-154.
- Materechera, S.A., and G.R. Mehuys. 1991. Organic manure additions and the leaf water potential and yield of barley. *Plant and Soil*. 138: 239-246.
- Mengistu, T., H. Gebrekidan, K. Kibret, K. Oldetsadik, B. Shimelis, and H. Yadav. 2017. The integrated use of excreta-based vermicompost and inorganic NP fertilizer on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit yield, quality and soil fertility. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 6: 63-77.
- Mohammadi Kale Sarlo, S., and R. Seyd Sharifi. 2022. Study of bio fertilizers and nano silicon application on physiological traits and grain filling components of triticale (*Triticosecale Wittma* L.) under soil salinity condition. *Crop Physiology Journal*. 14(53): 5-29. (In Persian).
- Moradi, M., and K. Taleshi. 2019. Effect of manure and biological fertilizer on yield and yield components of mung bean cv. Gohar in Khorramabad region. *Agroecology Journal*. 14(4): 45-56. (In Persian).
- Mousavian, S.N., H. Eskandari, and K. Kazemi. 2023. The effect of nitrogen and zinc amount on physiological properties, yield and protein content of wheat grain under terminal heat stress condition. *Journal of Crop Production and Processing*. 13(2): 17-32. (In Persian).
- Ning, D., Y. Zhang, X. Li, A. Qin, C. Huang, Y. Fu, Y. Gao, and A. Duan. 2023. The effects of foliar supplementation of silicon on physiological and biochemical

- responses of winter wheat to drought stress during different growth stages. *Plants*. 12(12): 2386.
- Nyborg, M., and A.M.F Henning. 1969. Field experiments with different placements of fertilizers for barley, flax and rapeseed. *Canadian Journal of Soil Science*. 49: 79-88.
 - Payegozar, Y. 2008. Effect of foliar application of micro elements on quantitative and qualitative characteristics of millet under drought stress. Master's thesis on agriculture, Faculty of Agriculture, Zabul University. (In Persian)
 - Raeesi Sadati, S.Y., S. Jahanbakhsh Godekahriz, A. Ebadi, and M. Sedghi. 2021. Effect of zinc oxide nanoparticles on some biochemical and morphological characteristics of wheat under drought conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 31(2): 233-250. (In Persian).
 - Rezabeighi, S., E. Bijanzadeh, and A. Behpouri. 2020. Effect of silicone spraying on assimilate remobilization and yield of two bread and durum wheat under late season water stress. *Journal of Plant Production*. 27(3): 55-71. (In Persian).
 - Saberiyani-Ranjbar, S., B. Motesharezadeh, F. Moshiri, H. Mirseyed Hosseini, and H.A. Alikhani. 2019. Study of nutritional responses of different wheat cultivars to silicon in a calcareous soil. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 50(3): 701-712. (In Persian).
 - Saha, S., B. Mandal, G.C. Hazra, A. Dey, M. Chakraborty, B. Adhikari, S.K. Mukhopadhyay, and R. Sadhukhan. 2015. Can agronomic biofortification of zinc be benign for iron in cereals?. *Journal of Cereal Science*. 65: 186-191.
 - Saiedinejad, M., M.A. Behdani, M.H. Sayari, and S. Mahmoodi. 2022. The effect of sulfur and cow manure on yield, yield components and amino acids of sesame varieties (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 32(1): 79-95. (In Persian).
 - Salem, E.M.M., M.K.M. Kenawey, H.S. Saady, and M. Mubarak. 2022. Influence of silicon forms on nutrients accumulation and grain yield of wheat under water deficit conditions. *Gesunde Pflanzen*. 74: 539-548.
 - Sarto, M.V.I.M., M. do Carmo Lana, L. Rampim, J.S.E. Rosset, J.R. Wobeto, M. Ecco, and P.F. da Costa. 2014. Effect of silicate on nutrition and yield of wheat. *African Journal of Agricultural Research*. 9(11): 956-962.
 - Savvas, D., and G. Ntatsi. 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulture*. 196: 66-81.
 - Seyed Hayat Gheyb, B., M. Mojaddam, and N. Derogar. 2019. Studying zinc sulphate effects on quantitative and qualitative characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 12(1): 75-84. (In Persian).
 - Shahmardan, M., E. Rahimi Petroudi, A.R. Daneshmand, and H.R. Mobasser. 2022. Effects of silicon and zinc sources on quantitative and qualitative characteristics of canola at normal and late planting dates. *Romanian Agricultural Research*. 39:88-96.
 - Shekari, F., H. Mohammadi, A. Pourmohammad, A. Avanes, and M.B. Khorshidi Benam. 2015. Spring wheat yielding and the content of protein and zinc in its grain depending on zinc fertilization. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 18(1): 08.

- Torabian, S., and M. Zahedi. 2013. Effects of foliar application of common and nano-sized of iron sulphate on the growth of sunflower cultivars under salinity. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 44(1): 109-118. (In Persian).
- Toulabi, F., H.R. Eisvand, and D. Goodarzi. 2021. Effects of vermicompost and zinc element foliar application on yield and baking quality of wheat under terminal moisture limitation stress conditions. *Cereal Research*. 11(3): 205-223. (In Persian).
- Verma, K.K., X-P. Song, D-M. Li, M. Singh, V.D. Rajput, M.K. Malviya, T. Minkina, R.K. Singh, P. Singh, and Y-R. Li. 2020. Interactive role of silicon and plant-rhizobacteria mitigating abiotic stresses: A New Approach for Sustainable Agriculture and Climate Change. *Plants*. 9(9): 1055.
- Verma, K.K., X-P. Song, C.L. Verma, Z-L. Chen, V.D. Rajput, K-C. Wu, F. Liao, G-L. Chen, and Y-R. Li. 2021. Functional relationship between photosynthetic leaf gas exchange in response to silicon application and water stress mitigation in sugarcane. *Biological Research*. 54: 15.
- Walsh, O.S., S. Shafian, J.R. McClintick-Chess, K.M. Belmont, and S.M. Blanscet. 2018. Potential of silicon amendment for improved wheat production. *Plants*. 7(2): 26.
- Wang, G., A. Dobermann, C. Witt, Q. Sun, and R. Fu. 2001. Performance of site-specific nutrient management for irrigated rice in Southeast China. *Agronomy journal*. 93(4): 869-878.
- Yazdani Biuki, R., H.R. Khazaei, P. Rezvani Moghaddam, and A. Astarai. 2010. Effects of animal manures and chemical fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of milk thistle plant (*Silybum marianum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 8(5):738-746. (In Persian).
- Yazdi Samadi, B., A. Rezaei, and M. Valyzadeh. 2011. Statistical designs in agricultural research. 9ed. Tehran University Press. 764p. (In Persian).
- Zargar, S.M., R. Mahajan, J.A. Bhat, M. Nazir, and R. Deshmukh. 2019. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *Biotechnology*. 9: 73.

Research Article

DOI:

Effects of Organic Fertilizer and Elements of Zinc and Silicon (Foliar Application and Soil Application) on Grain Yield, Elements Uptake, and Grain Protein in Wheat

Maryam Yousefnejad¹, Alireza Daneshmand^{2*}, Hamidreza Mobasser¹ and Hassan Nikkhah Kochaksaraei¹

Received: October 2023, Revised: 28 July 2024, Accepted: 26 April 2025

Abstract

The application of zinc and silicon elements improves the growth, yield and nutritional value of seeds. The use of organic fertilizer can help to improve the yield and nutritional value of seeds by improving the availability of nutrients. This study was conducted with the aim of improving the quantity and quality of wheat grain in the Faculty of Agriculture of Qaemshahr Islamic Azad University (Mazandaran-Northern Iran) during the years 2018-2019 and 2019-2020. The experiment was carried out as a split plot based on a randomized complete block design with 3 replications. Experimental treatments included animal manure with 2 levels (cow manure and no-consumption) as the main factor and the application of zinc and silicon elements (nano and normal fertilizers) with 9 levels as secondary factors. The results showed that the effect of year was not significant on any of the traits studied. The grain yield in the treatment without the use of cow manure was 16% higher compared to the use of cow manure, which was due to the increase in the numbers of spikelets and seeds in the spike. The highest grain yield was obtained for the treatment without using cow manure and with the use of zinc sulfate and the simultaneous use of potassium silicate and zinc nano oxide (4394 and 4423 kg/ha, respectively). The highest concentration of zinc in seeds was obtained by foliar spraying of zinc nano oxide, potassium silicate + zinc nano oxide, and silicon and zinc nanoparticles. The maximum seed protein was obtained in the treatment of cow manure application along with foliar spraying of zinc nano oxide, silicon and zinc nanoparticles, and soil application of zinc sulfate. The use of zinc sulfate alone or the combined use of potassium silicate + zinc nanooxide is suggested to improve grain yield. The use of cow manure combined with each of the treatments of zinc sulfate, zinc nanooxide, and silicon + zinc nanoparticles is recommended to increase seed protein.

Key words: Wheat production potential, Crop rotation, Irrigation frequency, Attainable yield, Nitrogen fertilizer consumption.

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

*Corresponding Authors: Alireza.daneshmand@gmail.com