مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد۱۶ ، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳

مجله پژوهش‌های به زراعی

اثرات کود آلی و عناصر روی و سیلیسیم بر عملکرد، محتوی پروتئین و جذب عناصر دانه گندم در منطقه قائمشهر

مریم یوسف نژاد[1]، علیرضا دانشمند[2*]، حمیدرضا مبصر[2]، حسن نیکخواه کوچکسرایی[2]

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

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۲۳

چکیده

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 به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان دادند که اثر سال بر هیچ یک از صفات مورد مطالعه معنی-دار نشد. عملکرد دانه در تیمار بدون مصرف کود گاوی در مقایسه با مصرف کود گاوی ۱۶ درصد بیشتر بود که به‌خاطر تعداد سنبلچه 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 محلول‌پاشی نانواکسید روی، مصرف سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی و محلول‌پاشی نانوذرات سیلیسیم و روی به‌دست آمد. حداکثر پروتئین دانه در تیمار با مصرف کود گاوی همراه با محلول‌پاشی نانواکسید روی، نانوذرات سیلیسیم و روی و مصرف خاکی سولفات روی به‌دست 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.

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

* نگارنده مسئول (al.daneshmand@iau.ac.ir)

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.)، مهمترین محصول یکساله است و بیشترین سطح زیر کشت دیم در جهان را دارد و بطور متوسط حدود ۲۰ درصد از کالری‌ها، پروتئین-ها، 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 & Mehuys, 1991). استفاده از کود حیوانی به‌دلیل نقش آن در بهبود حاصلخیزی خاک استراتژی عملی مؤثری در تولید بهینه محصول و غنی-سازی گندم است (Majidi & Shahbazi, 2020). کود گاوی به‌دلیل محتوای بالای مواد مغذی و مواد آلی، از دیرباز به‌عنوان 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 & Kutman, 2017). محققان دلیل اصلی کاهش سلامت انسان را مصرف زیاد غلات با فراهمی زیستی کم روی می‌دانند (Cakmak & 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 پروتئین دانه به‌دست 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 به‌عنوان یک عنصر ضروری شناخته نشده است، اما به‌عنوان 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، به‌ویژه در گیاهان دانه‌دار و سیپراسه[۲] می‌گذارد (Verma *et al.*,

[1] - *Cyperaceae*

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 معنی‌دار 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 (Saberiyan-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 به‌عنوان یک اصلاح کننده خاک، خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را بهبود می‌بخشند. این نوع کودها در تأمین 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

به‌منظور انجام این تحقیق، آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده و بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر اجرا شد. محل اجرای آزمایش در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و۴۹ 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 فیزیک وشیمیایی خاک محل آزمایش به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

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

ماه‌های سال	میانگین درجه حرارت ماهانه (°C)						مجموع ساعات آفتابی		مجموع بارندگی	
	حداقل		حداکثر		متوسط		(h)		(mm)	
	۱۳۹۷-۹۸	۱۳۹۸-۹۹	۱۳۹۷-۹۸	۱۳۹۸-۹۹	۱۳۹۷-۹۸	۱۳۹۸-۹۹	۱۳۹۷-۹۸	۱۳۹۸-۹۹	۱۳۹۷-۹۸	۱۳۹۸-۹۹
آبان-November	۱۲/۳	۱۱/۳	۲۰/۵	۱۹/۸	۱۶/۴	۱۵/۵	۱۲۷/۴	۱۲۸/۰	۵۷/۸	۲۲۸/۴
آذر-December	۹/۱	۶/۴	۱۶/۹	۱۵/۸	۱۳/۰	۱۱/۱	۸۹/۳	۱۴۰/۴	۶۵/۷	۲۸/۰
دی-January	۴/۸	۵/۵	۱۵/۷	۱۵/۳	۱۰/۲	۱۰/۴	۱۳۳/۸	۱۳۲/۰	۱۲۸/۳	۴۴/۹
بهمن-February	۵/۶	۳/۸	۱۵/۰	۱۵/۵	۱۰/۳	۹/۷	۱۳۲/۲	۱۵۶/۴	۱۰۶/۵	۱۲۹/۲
اسفند-March	۶/۷	۷/۳	۱۷/۱	۱۶/۵	۱۱/۵	۱۱/۵	۱۲۷/۶	۱۰۶/۱	۱۷۰/۷	۱۰۳/۴
فروردین-April	۱۰/۶	۹/۸	۱۸/۸	۱۸/۲	۱۴/۷	۱۴/۰	۱۳۱/۵	۱۲۱/۴	۷۸/۲	۸۰/۸
اردیبهشت-May	۱۵/۳	۱۴/۸	۲۵/۸	۲۵/۰	۲۰/۶	۱۹/۹	۲۰۰/۶	۱۸۲/۵	۵۱/۱	۳۳/۴
خرداد-June	۲۱/۴	۲۰/۳	۳۱/۷	۳۱/۷	۲۶/۵	۲۶/۰	۲۷۲/۴	۲۹۷/۰	۱/۰	۴/۰

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

خصوصیات خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ماده آلی	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	روی	بافت خاک
سال	ds/m	-	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	-
۱۳۹۷-۹۸	۰/۶۸	۸/۳	۱/۵	۰/۸۷	۰/۰۸۴	۸	۱۴۰	۱/۲	C-L
۱۳۹۸-۹۹	۰/۶۲	۷/۸	۱/۴	۰/۸۱	۰/۰۷۹	۹	۱۶۵	۱/۴	C-L

تیمارهای آزمایشی شامل کود دامی با ۲ سطح (کود گاوی و عدم مصرف) به‌عنوان عامل اصلی و کودهای روی و سیلیسیم با ۹ سطح (عدم مصرف، سولفات روی، سیلیکات پتاسیم، نانواکسید روی، نانواکسید سیلیسیم، سیلیکات پتاسیم + سولفات روی، سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی، نانواکسید سیلیسیم + سولفات روی و نانواکسید سیلیسیم + نانواکسید روی) به‌عنوان عامل فرعی بودند. مزرعه محل آزمایش در سال قبل زیر کشت گندم بود. جهت آماده سازی زمین از گاوآهن برگردان و دیسک استفاده شد. سپس زمین به ۳ تکرار و هر تکرار به ۱۸ کرت تقسیم شد. کرت‌ها با مساحت ۴/۸ 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 & Khavarinejad, 2017). بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۲)، فسفر (سوپرفسفات تریپل)، پتاسیم (سولفات پتاسیم) و نیتروژن (اوره) به ترتیب به میزان ۱۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای کرت‌های بدون مصرف کود گاوی درنظر 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 کاملا پوسیده به‌میزان ۱۲ تن در هکتار و کودهای سیلیکات پتاسیم و سولفات روی به‌ترتیب به‌میزان ۴۰۰ و ۴۰ 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 (۴/۸ 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 سیلیسم 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[1] 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 گرانستار[2] و پوماسوپر[3] 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.

[1] - US Research Nanomaterials, Inc

[2]- Tribenuron methyl 75% DF

[3]- Fenoxaprop-P-ethyl 7.5% EW

جدول ۳- مشخصات نانوذرات مورد مطالعه

ویژگی‌ها	فرمول شیمیایی	خلوص	میانگین اندازه ذرات	تراکم واقعی	سطح ویژه مخصوص	رنگ
ترکیب	-	%	nm	g/cm^3	m^2/g	-
دی‌اکسیدِ سیلیسیم	SiO_2	<۹۹%	۳۰-۲۰	۲/۴	۶۰۰-۱۸۰	سفید
اکسید روی	ZnO	<۹۹%	۳۰-۱۰	۵/۶۰۶	۶۰-۲۰	سفید

برداشت محصول گندم در اواسط خردادماه، پس از رسیدگی فیزیولوژیکی به‌صورت دستی انجام شد. نمونه‌گیری پس از حذف اثرات 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 سنبلچه در سنبله با میانگین‌گیری از روی ۱۵ سنبله مشخص شد. وزن هزار دانه با شمارش و توزین ده نمونه صدتایی از دانه‌ها (رطوبت ۱۴ درصد) به‌دست 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 سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت تعیین شد (دهمرده و همکاران، ۱۳۹۳). سپس دانه‌ها از کاه جدا شده و به‌عنوان عملکرد دانه (رطوبت ۱۴ درصد) و عملکرد کاه جداگانه توزین شدند. عملکردهای به‌دست آمده بر حسب کیلوگرم در هکتار بیان شدند. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه و به‌صورت درصد بیان شد. غلظت‌های سیلیس و روی گیاه به‌ترتیب با روش رنگ‌سنجی (Dallagnol *et al.*, 2011) و طیف‌سنجی جذب اتمی[1] (Emami, 1996) اندازه‌گیری شدند. محتوای پروتئین دانه از حاصل ضرب غلظت نیتروژن در ضریب ۶/۲۵ به‌دست آمد (Payegozar, 2008). غلظت نیتروژن دانه

[1]- Atomic absorption spectroscopy (A.A.S)

نیز به‌روش کجلدال محاسبه شد (Emami, 1996). داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ مطابق با جدول شماره۴ (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 و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار 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 معنی‌دار 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).

جدول ۴- تجزیه مرکب آزمایش‌های دو عاملی در قالب کرت‌های خرد شده

منابع تغییرات	عبارات مدل خطی		درجه آزادی	مشاهده شده	میانگین مربعات مورد انتظار	F
سال	Y_g	Year		M1		
تکرار(سال)	$R_{h(g)}$	Repetition (year)	N1=y-1	M2		
کود دامی	A_i	Manure	N2=y(r-1)	M3	$\delta^2_\varepsilon + b\delta^2_y + br\delta^2AY + byr\varphi A$	M3/M4
سال × کود دامی	$(AY)_{ig}$	Year × manure	N3=(a-1)	M4	$\delta^2_\varepsilon + b\delta^2_y + br\delta^2AY$	M4/M5
خطای (a)	$\delta_{h(g)i}$	Error (a)	N4=(a-1) (y-1)	M5	$\delta^2_\varepsilon + b\delta^2_y$	M5/M11
روی و سیلیسیم	B_j	Zinc and silicon	N5=y(a-1) (y-1)	M6	$\delta^2_\varepsilon + ar\delta^2BY + ayr\varphi B$	M6/M7
سال × روی و سیلیسیم	$(BY)_{ij}$	Year x zinc and silicon	N6=(b-1)	M7	$\delta^2_\varepsilon + ar\delta^2BY$	M7/M11
کود دامی × روی و سیلیسیم	$(AB)_{ij}$	Manure × zinc and silicon	N7=(b-1) (y-1)	M9	$\delta^2_\varepsilon + r\delta^2ABY + yr\varphi AB$	M9/M10
سال × کود دامی × روی و سیلیسیم	$(ABY)_{ijg}$	Year × manure × zinc and silicon	N9=(a-1) (b-1)	M10	$\delta^2_\varepsilon + r\delta^2ABY$	M10/M11
خطای (b)	$\varepsilon_{h(g)ij}$	Error (b)	N10=(a-1) (b-1) (y-1)	M11	δ^2_ε	
	$\varphi A = \Sigma A^2_i / (a-1)$		$\varphi B = \Sigma B^2_j / (b-1)$			$\varphi AB = \Sigma\Sigma AB^2_{ji} / [(a-1)(b-1)]$

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول سنبله	تعداد سنبلچه در سنبله	تعداد دانه درسنبله	وزن هزار دانه
سال	۱	۱۲/۶۸^{ns}	۰/۰۶۸^{ns}	۰/۹۵۴^{ns}	۸/۲۵۶^{ns}	۵/۱۱۳^{ns}
تکرار(سال)	۴	۹۴/۴۵	۱/۰۲۲	۰/۷۵۹	۱۱/۸۹	۱/۴۶۹
کود دامی	۱	۷۸۴/۱*	۱۵/۰۴**	۳۰/۷۷**	۳۴۸/۵۵*	۴/۶۷۹^{ns}
سال × کود دامی	۱	۲/۰۸۳^{ns}	۰/۲۰۵^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۹/۵۰۵^{ns}	۱۰/۲۹^{ns}
خطا	۴	۵۱/۸۱	۰/۴۴۵	۰/۷۸۱	۱۶/۸۱	۲/۵۷۳
روی و سیلیسیم	۸	۸۱/۸۲*	۰/۱۱۳^{ns}	۰/۰۷۰^{ns}	۱۸۶/۲۵**	۱/۱۲۸^{ns}
سال × روی و سیلیسیم	۸	۲/۲۵۹^{ns}	۰/۰۲۲^{ns}	۰/۰۲۷^{ns}	۱۳/۱۵^{ns}	۱/۳۳۱^{ns}
کود دامی × روی و سیلیسیم	۸	۳۱/۱۳^{ns}	۰/۲۲۷^{ns}	۱/۶۸۹^{ns}	۱۱/۲۲^{ns}	۲/۱۴۰^{ns}
سال × کود دامی × روی و سیلیسیم	۸	۵/۰۴۲^{ns}	۰/۰۳۶^{ns}	۲/۲۸۵*	۱۵/۱۰^{ns}	۰/۹۳۶^{ns}
خطا	۶۴	۳۰/۷۰	۰/۴۱۸	۰/۹۵۵	۱۶/۹۲	۳/۵۷۵
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۴۰	۶/۳۷	۵/۳۵	۱۰/۵۲	۴/۱۶

ns، * و :** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ادامه جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب صفات زراعی مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	عملکرد کاه	عملکرد دانه	شاخص برداشت
سال	۱	۳۵۲/۰۸^{ns}	۱۱۴۷۲۵/۹^{ns}	۱۷۷۸۷/۰^{ns}	۰/۰۴۴^{ns}
تکرار(سال)	۴	۷۰۸۶۹۲/۶	۱۱۷۱۲۵۶/۹	۶۱۵۲۱۵/۷	۶۸/۴۳
کود دامی	۱	۱۵۵۲۸/۰^{ns}	۶,۱۱۸۰۲۱۵۵**	۱۲۴۹۵۶۸۲/۴**	۸۵۵/۵۴**
سال × کود دامی	۱	۳۰۲۳۳/۸^{ns}	۱۸۰۹۶/۳^{ns}	۸۷۸۳۷/۰^{ns}	۸/۰۸۵^{ns}
خطا	۴	۱۲۷۹۱۶۵/۴	۵۴۲۰۰۳/۲	۲۱۵۰۱۲/۱	۶/۴۸۶
روی و سیلیسیم	۸	۴۰۷۷۳۶/۷^{ns}	۵۳۱۰۱/۴^{ns}	۳۱۹۱۱۲/۷**	۶/۷۱۱^{ns}
سال × روی و سیلیسیم	۸	۲۳۷۶۷/۲^{ns}	۷۵۷۰۹/۰^{ns}	۱۳۹۲۱/۷^{ns}	۱/۴۶۳^{ns}
کود دامی × روی و سیلیسیم	۸	۱۱۲۶۹۴۲/۱^{ns}	۵۲۳۲۰۹/۴^{ns}	۱۶۴۵۱۳/۴**	۵/۶۰۸^{ns}
سال × کود دامی × روی و سیلیسیم	۸	۱۲۲۷۷۳/۶^{ns}	۶۷۴۱۵/۳^{ns}	۳۷۴۹۹/۲^{ns}	۲/۵۶۷^{ns}
خطا	۶۴	۶۴۲۰۸۱/۴	۲۸۱۲۳۱/۱	۵۰۸۳۱/۷	۷/۸۳۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۳۶	۶/۰۹	۵/۷۶	۸/۹۹

ns، * و :** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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 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، نانواکسید روی و نانواکسید سیلیسیم + سولفات روی به‌دست آمد که به‌ترتیب به‌میزان 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 و افزایش طول میانگره می‌شود (Raeesi Sadati *et al.*, 2021). دیگر مشاهدات نشان داد که کاربرد سولفات روی خاک مصرف (Shahmardan *et al.*, 2022) و محلول‌پاشی نانواکسید 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 کابرد سیلیسیم ممکن است برای گونه‌هایی از گندم که بلندتر و مستعد خوابیدگی هستند، مفید باشد (Walsh *et al.*, 2018).

جدول ۶- مقایسه میانگین برخی از صفات زراعی گندم تحت اثرات ساده کودهای دامی، روی و سیلیسیم برای دو سال متوالی

	تیمارهای آزمایشی	ارتفاع بوته (cm)	طول سنبله (cm)	تعداد سنبلچه در سنبله	تعداد دانه درسنبله	وزن هزار دانه (g)
سال	۹۸-۱۳۹۷	۱۰۲/۲ a	۱۰/۱۸ a	۱۸/۱۶ a	۳۸/۸۳ a	۴۵/۶۲ a
	۹۹-۱۳۹۸	۱۰۲/۹ a	۱۰/۱۳ a	۱۸/۳۵ a	۳۹/۳۸ a	۴۵/۱۹ a
کود دامی	عدم مصرف	۹۹/۸۵ b	۱۰/۵۳ a	۱۸/۷۹ a	۴۰/۹۰ a	۴۵/۲۰ a
	کود گاوی	۱۰۵/۲ a	۹/۷۸۱ b	۱۷/۷۲ b	۳۷/۳۱ b	۴۵/۶۱ a
کودهای روی و سیلیسیم	عدم مصرف	۹۹/۹۲ b	۱۰/۱۸ a	۱۸/۳۰ a	۳۱/۹۹ d	۴۵/۸۵ a
	سولفات روی	۱۰۴/۹ a	۱۰/۱۵ a	۱۸/۱۴ a	۳۵/۶۷ c	۴۵/۲۹ a
	سیلیکات پتاسیم	۹۹/۳۳ b	۱۰/۲۴ a	۱۸/۳۰ a	۳۵/۶۸ bc	۴۵/۸۱ a
	نانواکسید روی	۱۰۴/۹ a	۱۰/۳۳ a	۱۸/۱۶ a	۳۹/۰۳ b	۴۵/۰۷ a
	نانواکسید سیلیسیم	۹۸/۷۵ b	۱۰/۰۶ a	۱۸/۳۶ a	۳۹/۰۳ b	۴۵/۳۲ a
	سیلیکات پتاسیم + سولفات روی	۱۰۵/۰ a	۱۰/۰۹ a	۱۸/۲۵ a	۴۲/۵۴ a	۴۵/۵۱ a
	سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی	۱۰۲/۵ ab	۱۰/۲۳ a	۱۸/۳۰ a	۴۲/۴۶ a	۴۵/۱۰ a
	نانواکسید سیلیسیم + سولفات‌روی	۱۰۴/۹ a	۱۰/۰۵ a	۱۸/۳۱ a	۴۲/۸۱ a	۴۵/۶۲ a
	نانواکسید سیلیسیم + نانواکسیدروی	۱۰۲/۷ ab	۱۰/۰۷ a	۱۸/۲۰ a	۴۲/۷۴ a	۴۵/۰۸ a

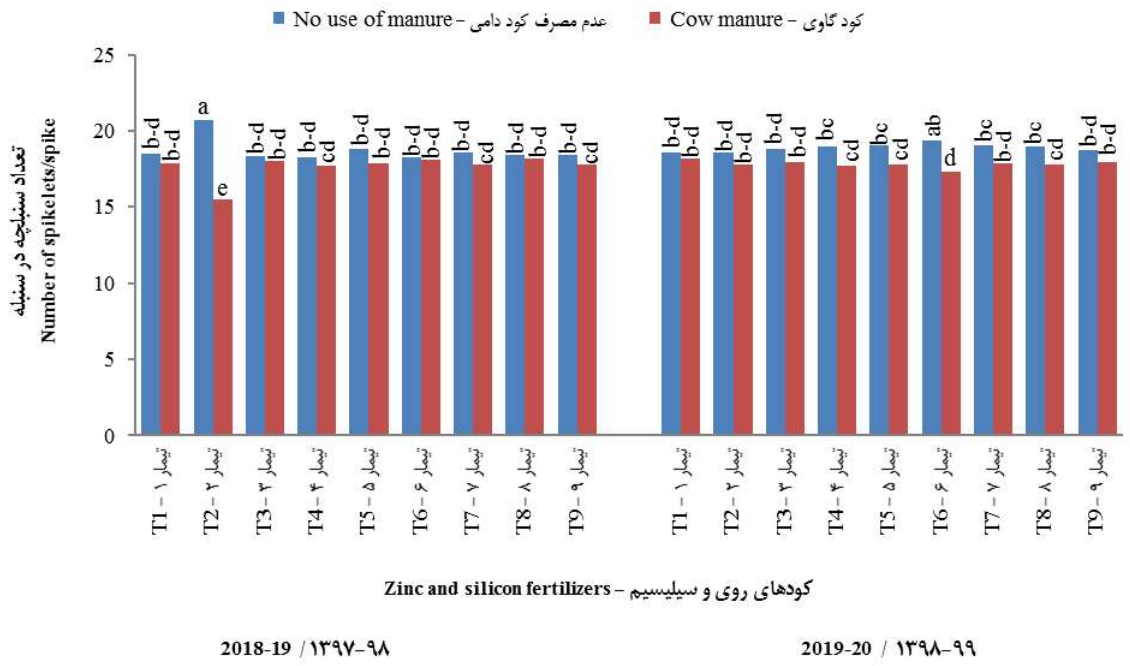
میانگین‌ها با یک حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

ادامه جدول۶- مقایسه میانگین برخی از صفات زراعی گندم تحت اثرات ساده کودهای دامی، روی و سیلیسیم برای دو سال متوالی

تیمارهای آزمایشی		عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	عملکرد کاه (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	شاخص برداشت (%)
سال	۹۸-۱۳۹۷	۱۲۵۹۳a	۸۷۴۰a	۳۸۹۹a	۳۱/۱۳a
	۹۹-۱۳۹۸	۱۲۵۹۶a	۸۶۷۵a	۳۹۲۴a	۳۱/۱۷a
کود دامی	عدم مصرف	۱۲۵۸۳a	۸۳۷۷b	۴۲۵۲a	۳۳/۹۷a
	کود گاوی	۱۲۶۰۷a	۹۰۳۸a	۳۵۷۱b	۲۸/۳۴a
کودهای روی و سیلیسیم	عدم مصرف	۱۲۱۲۲b	۸۶۲۲a	۳۵۹۰d	۳۰/۲۰a
	سولفات روی	۱۲۵۰۱ab	۸۶۷۰a	۳۸۳۱c	۳۰/۶۰a
	سیلیکات پتاسیم	۱۲۵۸۵ab	۸۷۵۹a	۳۸۳۲c	۳۰/۴۴a
	نانواکسید روی	۱۲۶۸۵ab	۸۷۹۲a	۳۸۳۹bc	۳۰/۶۹a
	نانواکسید سیلیسیم	۱۲۴۷۵ab	۸۶۲۸a	۳۸۴۸bc	۳۰/۸۳a
	سیلیکات پتاسیم + سولفات روی	۱۲۶۷۵ab	۸۶۶۶a	۴۰۱۷ab	۳۱/۶۸a
	سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی	۱۶۶۳ab	۸۸۰۱a	۴۰۲۹ab	۳۱/۹۵a
	نانواکسید سیلیسیم + سولفات‌روی	۱۲۶۸۹ab	۸۷۱۲a	۴۰۱۸ab	۳۱/۷۵a
	نانواکسید سیلیسیم + نانواکسیدروی	۱۲۸۶۷a	۸۷۱۹a	۴۰۴۸a	۳۲/۱۷a

میانگین‌ها با یک حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

در مطالعه حاضر، مقادیر بالاتر طول سنبله، تعداد سنبلچه 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 & 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 سانتی متر) از تیمار مصرف کود گاوی بود (جدول ۶). نتایج مشابهی توسط (Dahmardeh *et al* 2014) ارائه 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 سنبلچه در سنبله در سال اول با عدم مصرف کود گاوی و کاربرد سولفات روی (۲۰/۶۷ سنبلچه) به‌دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی-داری با عدم مصرف کودگاوی و کاربرد سیلیکات پتاسیم + سولفات روی در سال دوم (۱۹/۳۷ سنبلچه) نشان نداد. حداقل تعداد سنبلچه در سنبله در سال اول با مصرف کود گاوی و سولفات روی (۱۵/۵۰ سنبلچه) به-دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱- تعداد سنبلچه در سنبله تحت اثر متقابل سال × کود دامی × روی و سیلیسیم

تیمار ۱- عدم مصرف روی و سیلیسیم؛ تیمار ۲- سولفات روی؛ تیمار ۳- سیلیکات پتاسیم؛ تیمار ٤- نانواکسید روی؛ تیمار ٥- نانواکسید سیلیسیم؛ تیمار ٦- سیلیکات پتاسیم + سولفات روی؛ تیمار ۷- سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی؛ تیمار ۸- نانواکسید سیلیسیم + سولفات‌روی و تیمار ۹- نانواکسیدسیلیسیم + نانواکسیدروی. میانگین‌ها با یک حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

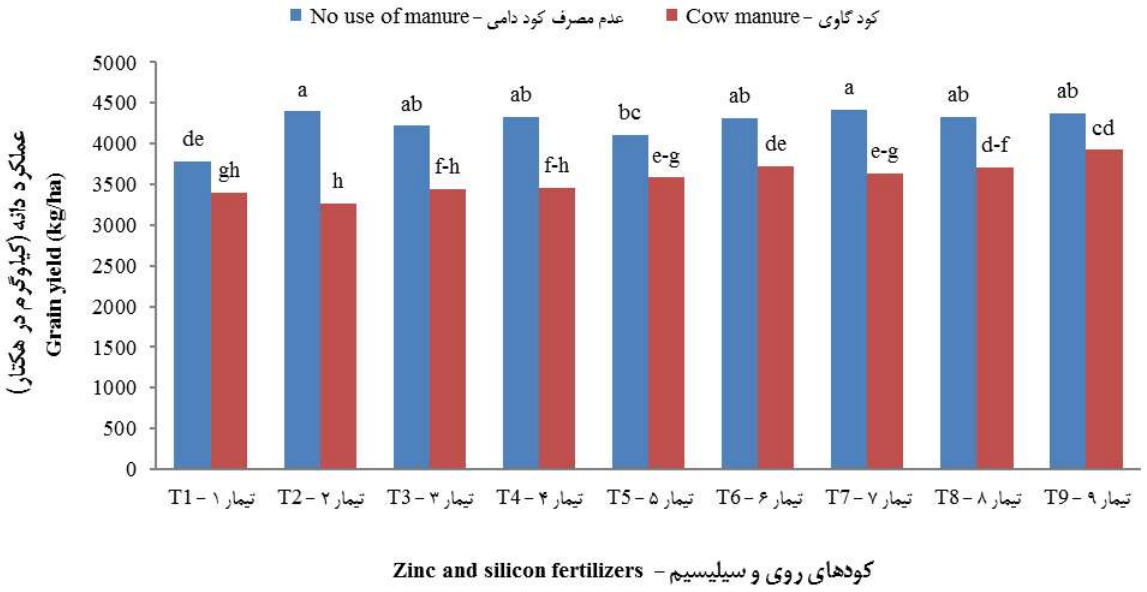
جدول ۶ نشان می‌دهد که تعداد دانه در سنبله در تیمار عدم مصرف کود گاوی به‌میزان ۸/۸ درصد بیشتر از تیمار مصرف کود گاوی بود. این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش تعداد سنبلچه در هر سنبله، افزایش تعداد گلچه و یا افزایش تعداد گلچه‌های بارور باشد (Lotfi Jala Abadi *et al.*, 2013) که با یافته‌های ما مطابقت دارد. مشاهدات Moradi & Taleshi (2019) بر روی گیاه ماش (*Vigna radiate* L.) نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف در شرایط عدم مصرف کود دامی گاوی به‌دست آمد و با مصرف ۱۰ تن در هکتار کود دامی از تعداد آن کاسته شد. ما همچنین دریافتیم که هر یک از کودهای روی و سیلیسم 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 نانواکسید سیلیسیم + سولفات روی، نانواکسید سیلیسیم + نانواکسید روی، سیلیکات پتاسیم + سولفات روی و سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی مشاهده شد که به‌ترتیب ۲۵/۳، ۲۵/۲، ۲۴/۸ و ۲۴/۷ درصد در مقایسه با عدم مصرف رشد نشان دادند (جدول۶). روی نقش کلیدی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، کنترل هورمون‌های رشد مختلف، افزایش فعالیت آنزیم‌ها، و تولید و رسیدن بذر دارد (Laware & 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 & Ntatsi, 2015). گزارشاتی مبنی بر افزایش تعداد دانه در سنبله گندم با کاربرد روی و سیلیسیم در مقایسه با عدم کاربرد ارائه شده است (Mohammadi Kale Sarlo & Seyd Sharifi, 2022; Seyed Hayat Gheyb *et al.*, 2019). بر اساس دیگر مستندات، کودهای روی و سیلیسیم با هر فرمی (نانو و خاک‌مصرف) باعث افزایش تعداد دانه در خوشه برنج (*Oryza sativa* L.) در مقایسه با عدم مصرف شد (Kheyri *et al.*, 2019).

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۶، میزان عملکرد دانه تحت شرایط عدم مصرف کود گاوی به‌خاطر افزایش تعداد سنبلجه در سنبله و تعداد دانه در سنبله به‌میزان۱۶ 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 به‌خاطر 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 یزدانی بیوکی 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 غیرمعنی‌دار بودن عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر تیمار روی و سیلیسم، آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار توانست اختلافی را در سطوح مختلف تیماری نشان دهد. حداکثر عملکرد بیولوژیک با کاربرد نانواکسیدسیلیسیم + نانواکسیدروی به‌دست آمد که به‌میزان ۵/۱ درصد نسبت به شاهد یا عدم کاربرد کود افزایش نشان داد. این تغییرات تنها به‌خاطر تأثیر تیمار روی و سیلیسم بر عملکرد دانه بود به‌طوری 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 به‌صورت انفرادی یا مرکب، باعث بهبود عملکر 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 به‌دلیل محدودیت‌هایی می‌باشد که این نوع کود برای گیاه ایجاد می‌کند. این محدویت‌ها به‌خاطر افزایش هدایت الکتریکی خاک (Marcote *et al.*, 2001) و رقابت بین ریزموجودات تجزیه‌کننده مواد آلی و گیاه برای مصرف نیتروژن (Lal, 1995) ایجاد می‌شود. Yazdani Biuki *et al* (2010) با بررسی انواع کودهای دامی و شیمیایی دریافتند که حداقل عملکرد دانه با کاربرد کود گاوی به‌دست 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 به‌طوری که با افزایش مصرف کود گاوی از ۲۰ به ۳۳ و ۵۰ تن در هکتار، عملکرد دانه به‌ترتیب ۱۰/۶ و ۱۵/۲ درصد کاهش یافت.



شکل ۲- عملکرد دانه تحت اثر متقابل کود دامی × روی و سیلیسیم

تیمار ۱- عدم مصرف روی و سیلیسیم؛ تیمار ۲- سولفات روی؛ تیمار ۳- سیلیکات پتاسیم؛ تیمار ٤- نانواکسید روی؛ تیمار ٥- نانواکسید سیلیسیم؛ تیمار ٦- سیلیکات پتاسیم + سولفات روی؛ تیمار ۷- سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی؛ تیمار ۸- نانواکسید سیلیسیم + سولفات‌روی و تیمار ۹- نانواکسیدسیلیسیم + نانواکسیدروی. میانگین‌ها با یک حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد دانه در شرایط عدم مصرف کود گاوی و با کاربرد سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی (۴۴۲۳ کیلوگرم در هکتار) و سولفات روی (۴۳۹۴ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (شکل ۲). عنصر روی عملکرد را با ایجاد رشد رویشی مناسب، افزایش غلظت کلروفیل، بهبود سیستم فتوسنتزی (Abbasi *et al.*, 2019; Dewal & 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 محلول‌پاشی روی باعث افزایش عملکرد دانه در گندم شد (Ma *et al.*, 2017; Saha *et al.*, 2015). دیگر محققان دریافتند که حداکثر عملکرد دانه گندم طی دو سال آزمایش با کاربرد سیلیکات پتاسیم به‌دست 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 به‌طوری که با عملکرد دانه رابطه مستقیم و با عملکرد بیولوژیک رابطهٔ عکس دارد (Mousavian *et al.*, 2023). در تحقیق حاضر، شاخص برداشت بیشتر تحت تأثیر عملکرد دانه بود به‌طوری که در تیمار عدم مصرف کود گاوی (۱۶ 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). به‌طور 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 محلول‌پاشی روی در مراحل مختلف فنولوژیکی، توسط سایر محققان به‌دست 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 به‌ترتیب 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.

جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت سیلیس دانه	غلظت روی دانه	محتوای پروتئین دانه
سال	۱	۰/۰۰۳ns	۱۴/۶۹ns	۲/۰۵۸ns
تکرار(سال)	۴	۰/۰۹۱	۱۰/۰۹	۴/۰۰۱
کود دامی	۱	۰/۰۰۲ns	۱/۲۷۰ns	۲۱۷/۴۰**
سال × کود دامی	۱	۰/۰۲۸ns	۴/۳۵۶ns	۰/۰۰۱ns
خطا	۴	۰/۱۸۱	۱۶/۸۰	۱/۲۷۱
روی و سیلیسیم	۸	۰/۵۸۲**	۷۷/۹۶**	۳۷/۶۷**
سال × روی و سیلیسیم	۸	۰/۰۰۶ns	۳/۵۲۰ns	۱/۴۱۹ns
کود دامی × روی و سیلیسیم	۸	۰/۰۴۴ns	۱۷/۷۱ns	۳/۴۳۷*
سال × کود دامی × روی و سیلیسیم	۸	۰/۱۰۱ns	۲/۶۵۹ns	۰/۱۵۵ns
خطا	۶۴	۰/۱۰۹	۱۹/۹۶	۱/۶۲۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۷/۰۵	۱۰/۹۶	۱۰/۸۲

ns، * و : به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.**

یافته‌های ما نشان داد که کاربرد سیلیس باعث بهبود غلظت سیلیس دانه شد و از این نظر، نانوذرات سیلیسیم برتری غیرمعنی‌داری نسبت به سیلیسیم خاک‌مصرف نشان داد. حداکثر غلظت سیلیس دانه تحت تیمارهای نانواکسید سیلیسم، نانواکسید سیلیسیم + سولفات روی و نانواکسید سیلیسیم + نانواکسید روی به‌دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمارهای سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی، سیلیکات پتاسیم + سولفات روی و سیلیکات پتاسیم نشان ندادند. غلظت سیلیس دانه تحت تیمارهای یادشده به‌ترتیب 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 می‌شود از طریق تجزیه بیولوژیک و فعالیت‌های آنزیمی شکسته شده و از بافت‌های گیاهی خارج نمی‌شود. به‌همین خاطر، میزان سیلیس در بافت‌های گیاهی افزایش می‌یابد (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 می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیش‌تر از ذرات معمول باشد (Torabian & Zahedi, 2013) که این موضوع در گزارشات صابریان‌رنجبر و همکاران (Saberiyan-Ranjbar *et al.*, 2019) نیز اثبات شده است به‌طوری که دریافتند غلظت سیلیسیم در اندام هوایی گندم با کاربرد نانوذرات سیلیسیم نسبت به سطوح مختلف سیلیکات پتاسیم بالاتر بود.

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

تیمارهای آزمایشی	غلظت سیلیس دانه (%)	غلظت روی دانه (mg/kg)
سال		
۹۸-۱۳۹۷	۱/۹۴۰a	۴۰/۳۹a
۹۹-۱۳۹۸	۱/۹۲۹a	۴۱/۱۳a
کود دامی		
عدم مصرف	۱/۹۳۰a	۴۰/۸۷a
کود گاوی	۱/۹۳۸a	۴۰/۶۵a
کودهای روی و سیلیسیم		
عدم مصرف	۱/۶۷۳a	۳۷/۸۱b
سولفات روی	۱/۶۸۱bc	۴۰/۶۱ab
سیلیکات پتاسیم	۱/۹۴۶ab	۳۷/۹۷b
نانواکسید روی	۱/۶۶۶c	۴۳/۵۴a
نانواکسید سیلیسیم	۲/۱۸۳a	۳۷/۸۲b
سیلیکات پتاسیم + سولفات روی	۱/۹۴۰ab	۴۰/۶۰ab
سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی	۱/۹۵۰ab	۴۳/۸۳a
نانواکسید سیلیسیم + سولفات روی	۲/۱۸۱a	۴۰/۸۱ab
نانواکسید سیلیسیم + نانواکسید روی	۲/۱۸۱a	۴۳/۸۷a

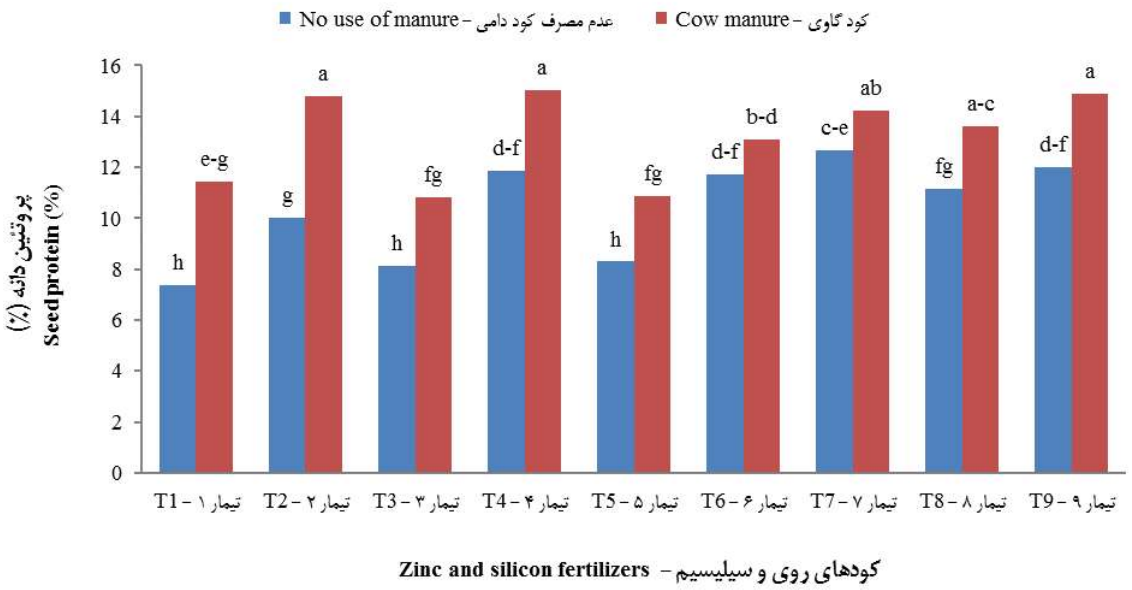
میانگین‌ها با یک حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

جدول ۸ نشان می‌دهد که کاربرد روی، غلظت روی دانه را بهبود بخشید و از این نظر، نانوذرات روی برتری غیر معنی‌داری در مقایسه با روی خاک مصرف داشت. حداکثر غلظت روی دانه تحت تیمارهای نانواکسید سیلیسیم + نانواکسید روی، سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی و نانواکسید روی به‌دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمارهای نانواکسید سیلیسیم + سولفات روی، سولفات روی و سیلیکات پتاسیم +

سولفات روی نشان ندادند. غلظت روی دانه تحت تیمارهای فوق به‌ترتیب به‌میزان ۱۳/۸، ۱۳/۷، ۱۳/۲، ۷/۴، ۶/۹ و ۶/۹ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود افزایش یافت. تمام روش‌های کاربرد روی (کاربرد خاک، محلول‌پاشی، پرایمر بذر و پوشش بذر) باعث افزایش غلظت روی دانه می‌شود (Farooq *et al.*, 2018). طولابی و همکاران (Toulabi *et al.*, 2021) دریافتند که محتوای روی دانه گندم به‌طور معنی‌داری با محلول‌پاشی سولفات روی افزایش یافت. سایر مستندات نشان داده‌اند که محلول‌پاشی 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 اثرمتقابل دوگانه نشان می‌دهد که مصرف کود گاوی باعث بهبود محتوای پروتئین دانه می‌شود. بالاترین درصد پروتئین دانه در شرایط مصرف کود گاوی و به‌ترتیب با تیمارهای نانواکسید روی (۱۵/۰۳ درصد)، نانواکسید سیلیسیم + نانواکسید روی (۱۴/۸۸ درصد) و سولفات روی (۱۴/۷۸ درصد) به‌دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری 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 می‌دهد 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 می‌کند (Majidi & 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).



شکل ۳- محتوای پروتئین دانه تحت اثر متقابل کود دامی × روی و سیلیسیم

تیمار ۱- عدم مصرف روی و سیلیسیم؛ تیمار ۲- سولفات روی؛ تیمار ۳- سیلیکات پتاسیم؛ تیمار ٤- نانواکسید روی؛ تیمار ٥- نانواکسید سیلیسیم؛ تیمار ٦- سیلیکات پتاسیم + سولفات روی؛ تیمار ۷- سیلیکات پتاسیم + نانواکسید روی؛ تیمار ۸- نانواکسید سیلیسیم + سولفات‌روی و تیمار ۹- نانواکسیدسیلیسیم + نانواکسیدروی. میانگین‌ها با یک حرف مشابه بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

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 سیلیسم در بهبود

عملکرد دانه مؤثر بودند. با این حال حداکثر عملکرد دانه در شرایط عدم مصرف کود گاوی و با تیمارهای سولفات‌روی و سیلیکات‌پتاسیم + نانواکسیدروی مقدور شد. غلظت سیلیسم و روی دانه تحت تأثیر کود دامی قرار نگرفتند اما حداکثر غلظت سیلیسم با کاربرد نانواکسیدسیلیسیم به‌تنهایی یا همزمان با کاربرد روی به‌دست آمد. غلظت روی دانه نیز با کاربرد نانواکسیدروی به‌صورت جداگانه یا همزمان با کاربرد سیلیسیم به حداکثر مقدار خود رسید. حداکثر پروتئین دانه، در شرایط مصرف کود گاوی و با تیمارهای سولفات‌روی، نانواکسیدروی و نانواکسیدسیلیسیم + نانواکسیدروی به‌دست 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.

منابع

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. doi: 10.22069/EJSMS.2018.14412.1795. (In Persian).

Amanullah., Inamullah, M.S. Alwahibi, M.S. Elshikh, J.

tinctorious L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 15(3): 575-587. doi: 10.22067/GSC.V15I3.49077. (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. doi: 10.22059/IJFCS.2014.51025. (In Persian).

Dallagnol, L.J., F.A. Rodrigues, F.M. DaMatta, 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. https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-10-0105

Damary, J., M. Fretes, A. Diosnel, and M. Milciades. 2017. Wheat response to the application of zinc

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. https://doi.org/10.3390/agronomy10081155.

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. http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/3.2.25

Azad, Md.A.K., T. Ahmed, T. E-J Eaton, and Md.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. https://doi.org/10.4236/ajps.2022.137066

Azimzadeh, S.M. 2017. Effect of Organic Fertilizers on Yield and Yield Components of Safflower (*Carthamus*

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. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.004

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. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110885

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 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.

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. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1605_57815798.

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. https://doi.org/10.2134/agronj2019.04.0304

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 Plant Interactions, 10(1): 29-46. doi: 10.29252/ejgcst.10.1.29. (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. doi: 10.29252/jcpp.7.4.121. (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. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.043

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. https://doi.org/10.15835/nbha44110224

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 & Environmen, 119(3-4): 249-256. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.006

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. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109108

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 Sustainable Agricultural, 5(4): 51-78. https://doi.org/10.1300/J064v05n04_06

Laware, S. and S. Raskar. 2014. Influence of Zinc Oxide Nanoparticles on Growth, Floweringand 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. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00860

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. doi: 10.22034/AEJ.2018.545941. (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. :doi 10.47176/jcpp.13.2.37402. (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 Manures Residual Effects on Some Quantitative and Qualitative Traits of Winter Wheat. Iranian Journal of Soil Research, 34(2): 155-167. doi: 10.22092/IJSR.2020.122488. (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. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00048-7

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. https://doi.org/10.1007/BF00012251

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. https://doi.org/10.1007/s40093-017-0153-y

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. doi: 10.22069/jopp.2020.16384.2491. (In Persian).

Saberiyan-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. doi: 10.22059/IJSWR.2018.262582.667976. (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. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.007

Responses of Winter Wheat to Drought Stress during Different Growth Stages. Plants, 12(12): 2386. https://doi.org/10.3390/plants12122386

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. doi: 10.22034/SAPS.2021.13106. (In Persian).

https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010

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. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1173.1239. (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, no 39.

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 **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. doi: 10.22034/SAPS.2021.43607.2596. (In Persian).

Salem, E.M.M., M.K.M. Kenawey, H.S. Saudy, 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. https://doi.org/10.1007/s10343-022-00629-y

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. https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7617

Savvas, D. and G. Ntatsi. 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. Scientia Horticulture, 196: 66-81.

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. https://doi.org/10.3390/plants9091055

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. https://doi.org/10.3390/plants7020026

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. https://doi.org/10.2134/agronj2001.934869x

Yazdani Biuki, R., H.R. Khazaei, P. Rezvani Moghaddam, and A. Astaraei. 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-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. doi: 10.22059/IJFCS.2013.30488. (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. doi: 10.22124/CR.2022.20864.1695. (In Persian).

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. https://doi.org/10.1186/s40659-021-00338-2

Verma, K.K., X-P. Song, D.M. Li, M. Singh, V.D. Rajput, M.K. Malviya, T. Minkina, R.K. Singh,

746. doi: 10.22067/GSC.V8I5.8015. (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. 3 Biotech, 9: 73.

Effects of organic fertilizer and Zinc and Silicon on yield, protein content and elements uptake of Wheat grain in Qaemshahr region

M.Yousefnezad[1], A.R. Daneshmand[2*],H.R. Mobasser[2], H. Nikkkhah Koochaksaraee[2]

1. Ph.D student of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Agronomy, Qaemshhar Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

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.

Keywords: Cow manure, Nanoparticles, Seed protein, Seed silicon, Seed zinc

* Corresponding author (al.daneshmand@iau.ac.ir)