تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳، ص ۳۶۲-۳۴۵

مقاله پژوهشی

# مقایسه اثر کلات‌های رایج و نانوذره آهن و روی بر عملکرد و اجزاء آن در ذرت

**هایده ناصری زاده[۱]، محسن سعیدی[۲*]، حمیدرضا چقازردی[۲]**

۱- دانش آموخته فوق لیسانس آگروتکنولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

* مسئول مکاتبه: msaeidi@razi.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۲ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.410596.1366**

**چکیده**

یکی از دلایل اصلی پایین بودن عملکرد گیاهان زراعی در اغلب زمین‌های زراعی ایران، کمبود عناصر ریزمغذی فلزی مانند آهن و روی می‌باشد. لذا این تحقیق به منظور بررسی اثر کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر خصوصیات زراعی ذرت پاپکورن رقم سینگل کراس ۶۰۰، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در دانشگاه رازی اجرا شد. در هر بلوک کودهای آهن و روی رایج و نانوذره با غلظت‌های صفر، ۴ و ۸ گرم در لیتر و اثر متقابل آن‌ها بررسی شدند. نتایج نشان دادند که غلظت‌ها و گروه‌های کودی به غیر از وزن هزاردانه، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد علوفه و دیگر صفت‌های مورد بررسی نسبت به تیمار شاهد شدند. بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد (۳۵۹۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به دو گروه تیمارآهن رایج و آهن نانوذره×روی نانوذره با ۸۱ درصد بود. تیمار آهن نانوذره۸×روی نانوذره۴ سبب بیش‌ترین افزایش معنی‌دار عملکرد دانه (۱۳۲ درصد) نسبت به تیمار شاهد شد. تعداد دانه در بوته بیش‌تر از صفت وزن هزار دانه تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت. تشابه فراوان خصوصیات شیمیایی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک و افزایش ۱۳۲ درصدی عملکرد دانه در آزمایش حاضر، نشان‌دهنده کمبود معنی‌دار فرم قابل جذب عناصر آهن و روی و نقش بسیار مهم آن‌ها در شکل‌گیری عملکرد دانه ذرت در مناطق مشابه می‌باشد. در این شرایط کارایی فرم نانوذره عناصر ریزمغذی آهن و روی از فرم رایج آن‌ها نیز بیش‌تر بود.

**واژه‌های کلیدی:** ارتفاع بوته، تعداد دانه در ردیف، سینگل کراس، عملکرد علوفه، قطر ساقه، وزن هزاردانه

## مقدمه

در جهان امروز بسیاری از کشورها انرژی و پروتئین مورد نیاز خود را از غلاتی مانند ذرت (*Zea mays* L.) تأمین می‌کنند. به طور متوسط دانه ذرت ۵ درصد از کل کالری و پروتئین رژیم غذایی انسان‌ها را در سراسر جهان تشکیل می‌دهد (Erenstein *et al.*, 2022). کشت این گیاه در زمین‌های کشاورزی تا ارتفاع ۳۰۰۰ متر از سطح دریا دیده می‌شود (Ranilla *et al.*, 2021). خصوصیات متعدد این گیاه مانند: تولید بیش‌ترین عملکرد دانه بین سایر غلات (Chakraborty *et al.*, 2016)، دو منظوره بودن کشت این گیاه (دانه، علوفه) (Kaur *et al.*, 2022; Chaudhary *et al.*, 2016) محصولات متنوع و پردرآمد (مانند: بلال سبز، بچه بلال، ذرت شیرین، پاپ‌کورن و استفاده از مواد خام گیاهی جهت صنعت) (Chakraborty *et al.*, 2016) و همچنین تولید نشاسته ذرت، دکستروز و شربت ذرت (Gul *et al.*, 2021) سبب شده است تا این گیاه برای کشت توسط کشاورزان بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد. این گیاه بیش‌تر یک گیاه صنعتی است و کم‌تر مورد استفاده مستقیم خوراکی توسط انسان قرار می‌گیرد. ۱۲ تا ۱۳ درصد تولید ذرت دنیا توسط انسان به طور مستقیم مصرف می‌شود. این گیاه در ۱۶۵ کشور دنیا کشت می‌شود (FAO, 2021). کم‌تر از ۱۰ درصد دانه ذرت مصرفی در کشور از طریق تولید داخلی تأمین می‌شود. میزان واردات بذر ذرت در سال ۱۴۰۰ حدود ۹/۸ میلیون تن بوده است که از واردات گندم (۷/۱ میلیون تن) به طور معنی‌داری بیش‌تر بوده است. برای واردات ذرت در این سال حدود ۳/۳ میلیون دلار ارز مصرف شده است (Ministry of Agriculture - Jihad. 2022). در این ارتباط، یکی از مهم‌ترین راهکارها جهت جلوگیری از خروج ارز از کشور و کاهش وابستگی، تلاش در جهت افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد. یکی از فعالیت‌های به‌زراعی مورد توجه در اغلب خاک‌های کشاورزی کشور ما تنظیم دقیق عناصر ریزمغذی برای رشد گیاهان مختلف از جمله ذرت است. با توجه خصوصیات مشترک اکثر خاک‌های زراعی ایران از جمله پایین

بودن رطوبت خاک، پایین بودن محتوی عناصر ریزمغذی از جمله آهن و روی در محلول خاک، بالابودن میزان pH محلول خاک، پایین بودن درصد مواد آلی اکثر خاک‌های زراعی ایران مخصوصاً در شرایط دیم، بالا بودن محتوی بی‌کربنات در آب آبیاری و عدم توازن با کودهای NPK، کمبود عناصر غذایی ریزمغذی از جمله آهن و روی در اکثر محصولات زراعی دیده می‌شود. با جبران کمبود این کودها از طریق محلول‌پاشی می‌توان در جهت افزایش عملکرد دانه گیاهان زراعی از جمله ذرت اقدام نمود (Malakoti and Tehrani, 2000; Dass *et al.*, 2022; Narimani *et al.*, 2010). امروزه استفاده زیاد از کودهای شیمیایی گرچه موجب افزایش عملکرد شده است، اما نباید از اثرات منفی و پیامدهای نامناسب آن که شامل فرسایش و آلودگی خاک و تجمع سموم و کاهش تنوع زیستی گیاهان غافل شد (Daneshmandi and seyyedi, 2019). استفاده از خصوصیات علم نانوتکنولوژی در صنعت و کشاورزی چشم‌انداز و فرصت جدیدی در جهت افزایش کارایی صنعت و افزایش تولیدات کشاورزی فراهم نموده است. طی چند سال گذشته استفاده از نانوذرات در بخش‌های مختلف کشاورزی موازی با صنعت افزایش یافته است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای نانو ذرات در کشاورزی به منظور تهیه کودها است. نانو ذرات اندازه بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند. به دلیل اندازه کوچک، احتمالاً جذب آن‌ها توسط ریشه گیاهان با سهولت بیش‌تر صورت می‌گیرد (Bhardwaj *et al.*, 2022). نانوذرات با اندازه کوچک خود در مقیاس نانومتر می‌توانند به راحتی از منافذ برگ‌ها عبور کنند و با نفوذ در بافت‌های گیاهی جذب مواد مغذی را افزایش دهند (Qureshi *et al.*, 2018).

در سال‌های اخیر استفاده از نانوتکنولوژی در کشاورزی و مخصوصاً در تولید انواع کودهای نانوذره موفقیت‌آمیز بوده است. با توجه به جدید بودن استفاده از کودهای نانوذره و ناشناخته بودن تمامی جنبه‌های کاربرد این کودها شامل: اثرات زیست‌محیطی و اثر بر خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان زراعی و وحشی، انجام مطالعات در این زمینه حائز اهمیت فراوان است (Panda *et al.*, 2020). بنابراین احتمالاً با استفاده از تکنولوژی تولید کودهای نانوذره و کاربرد این کودها در مزرعه، می‌توان به صورت کارآمدتری نسبت به کودهای رایج در جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد دانه اقدام نمود. بنابراین تحقیق حاضر نیز در همین راستا و جهت بررسی اثر کودهای آهن و روی بر عملکرد دانه و صفت‌های مرتبط با آن در ذرت بذری و همچنین مقایسه نحوه تأثیر کودهای رایج و نانوذره آهن و روی انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، واقع در شهرستان کرمانشاه در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ با موقعیت جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شمالی طول جغرافیایی و ۳۴ درجه و۲۱ دقیقه عرض شمالی و اقلیم سرد و معتدل با ارتفاع ۱۳۱۹متر از سطح دریا انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا۳۰ سانتی‌متری در جدول ۱ ارائه شده است.

عملیات تهیه بستر کشت به صورت شخم با گاوآهن برگردان‌دار در پاییز سال ۱۳۹۹ و زدن دیسک قبل از کشت آخر خرداد ماه ۱۴۰۰ جهت خرد کردن کلوخه‌ها انجام شد. این آزمایش در سه بلوک هر کدام با فاصله‌ی ۲ متر از یکدیگر اجرا شدند. هر بلوک دارای ۱۳ کرت بود و در هر کرت ۴ خط کشت شدند. طول خطوط کشت ۸ متر بود. کشت ذرت بذری پاپ‌کورن سینگل‌کراس ۶۰۰ بر اساس دستورالعمل شرکت توسعه کشت ذرت انجام شد. بر این اساس، فاصله خطوط کشت از هم ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌های مادری روی خطوط کشت ۱۷ سانتی‌متر و فاصله بوته‌های پدری روی خطوط کشت ۱۵ سانتی‌متر بود. به ازاء چهار خط پایه مادری، دو خط پایه پدری کشت شد. تاریخ کاشت یکم تیرماه ۱۴۰۰ بود.

در این شرایط لاین مادری، K1533 و لاین پدری ZK4722AAبود. از مشخصات این رقم به متوسط وزن هزاردانه ۱۸۰ گرم، متوسط تعداد روز تا ظهور گل تاجی ۶۰ روز، زمان رسیدگی فیزیولوژیک ۱۱۵ الی ۱۲۵ روز، متوسط رس و مناسب برای تولید پاپ کورن، تیپ دانه سخت و بلال مخروطی شکل، مقاومت نسبی به بیماری پوسیدگی فوزاریومی و مناسب کشت در اکثر استان‌های کشور اشاره نمود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physio-chemical properties of the soil at the experiment site

| فسفر P | پتاسیم K | مس Cu | آهن Fe | روی Zn | منگنز Mn | ماده آلی O.M. | آهک Lime | شن Sand | سیلت Silt | رس Clay | نیتروژن N | pH | بافت خاک Soil Texture |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (mg kg$^{-1}$) | | | | | | (%) | | | | | | | |
| 18 | 360 | 1.8 | 4.5 | 0.48 | 14 | 0.99 | 9 | 10.7 | 43.9 | 45.4 | 0.09 | 7.8 | رسی سیلتی Clay Silty |

تیمارهای کودی در ۱۳ سطح شامل: آهن و روی رایج و نانوذره (صفر، ۴ و ۸ گرم در لیتر) و تیمارهای ترکیبی آهن نانوذره ۴ × روی نانوذره ۴، آهن نانوذره ۴ × روی نانوذره ۸، آهن نانوذره ۸ × روی نانوذره ۴ و آهن نانوذره ۸ × روی نانوذره ۸ تیمار کودی به صورت محلول‌پاشی و توسط سم‌پاش دستی دو لیتری در دو مرحله نموی در ابتدای رشد رویشی (۲۹ تیرماه ۱۴۰۰) و ابتدای گل‌دهی (سی و یکم مردادماه ۱۴۰۰) اعمال شدند. به منظور جذب بهتر مواد غذایی، محلول‌پاشی در ساعت‌های خنک بعد از ظهر انجام شد. نانوکودهای کلاته آهن، روی و بور از شرکت صدور احرار شرق تهیه شدند. این کودها بر اساس فناوری کلات‌های پیشرفته که در اداره ثبت اختراعات آمریکا به ثبت نهایی رسیده است تولید شدند (Fakharzadeh *et al.*, 2020; Joshi *et al.*, 2018). در فناوری کلات‌های پیشرفته با استفاده از روش خودچینی (Self-Assemble)، کلات‌هایی تولید می‌گردند که از جذب و کارایی بسیار بالاتری در مقایسه با ساختارهای پیشین برخوردارند. ابعاد این نانوکودها بر اساس نتایج به دست آمده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی زیر ۱۰۰ نانومتر است (Fakharzadeh *et al.*, 2020). تیمارهای کودی رایج براساس نتایج آزمون خاک انجام شد (جدول ۱). آبیاری مزرعه براساس عرف منطقه و به صورت آبیاری بارانی انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی و چندین مرحله در طول دوره نمو گیاه انجام گرفت. در زمان رسیدگی تکنولوژیک (بیست و چهارم آبان ماه ۱۴۰۰) و پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌های ۲ متر مربع از هر کرت جهت اندازه‌گیری صفت‌های زراعی شامل عملکرد دانه، عملکرد علوفه خشک، شاخص برداشت، تعداد بلال در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، طول بلال، قطر بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، ارتفاع بوته و قطر ساقه از سطح مزرعه برداشت شدند. برای محاسبه عملکرد دانه و علوفه خشک و اجزاء عملکرد، ابتدا بوته‌های برداشت شده از هر کرت در آون و تحت شرایط ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شده و سپس توزین نمونه‌ها انجام شد. پس از اندازه‌گیری عملکرد دانه و اجزاء آن، جهت محاسبه شاخص برداشت عدد حاصل از تقسیم نمودن عملکرد دانه بر عملکرد زیست‌توده، در ۱۰۰ ضرب شد. جهت اندازه‌گیری اجزاء عملکرد دانه و صفت‌های زراعی مرتبط با آن از هشت بوته تصادفی در هر کرت استفاده شد. اندازه‌گیری طول و قطر ساقه به ترتیب با استفاده از متر دقیق و کولیس انجام شدند. جهت اندازه‌گیری وزن هزار دانه پنج نمونه تصادفی ۵۰۰ عددی بذر توزین شدند و میانگین آن‌ها به عنوان وزن هزار دانه مورد استفاده قرار گرفت.

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.4 انجام شد و جهت مقایسه آماری میانگین‌ها از روش LSD یا حداقل تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که گروه‌های مختلف و غلظت‌های مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه، عملکرد علوفه خشک، شاخص برداشت، تعداد بلال در بوته و تعداد دانه در بوته داشتند، ولی بر وزن هزار دانه اثر معنی‌دار نداشتند (جدول ۲ و ۳)، همچنین غلظت‌های مختلف کاربرد کودهای رایج و نانوذره نیز اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌های اثر گروه‌های مختلف کودهای رایج و نانوذره بر عملکرد دانه (شکل ۱) نشان داد، گروه‌های تیمار کودهای رایج و نانوذره سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه

نسبت به تیمار شاهد (۳۵۹۰ کیلوگرم در هکتار) شدند. کم‌ترین مقدار افزایش معنی‌دار عملکرد دانه مربوط به گروه کود روی نانوذره با ۵۱۰۰ کیلوگرم دانه در هکتار (افزایش ۴۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد) و بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به دو گروه کاربرد آهن رایج و گروه ترکیبی آهن نانوذره × روی نانوذره با ۶۴۹۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه (۸۱ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) بود (شکل ۱).

تمامی غلظت‌های کودهای رایج و نانوذره آهن و روی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد (۳۵۹۰ کیلوگرم در هکتار) شدند. در این شرایط بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمارهای آهن نانو۸ × روی نانو۴، آهن نانو۴ × روی نانو۸ و آهن نانو۴ به ترتیب با ۸۳۶۰ (۱۳۲ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد)، ۸۰۱۰ (۱۲۳ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) و ۷۶۵۰ (۱۱۳ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۲). فرم ترکیبی کودهای نانوذره با غلظت‌های متفاوت بهتر از سایر تیمارها توانستند سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به دیگر تیمارها مخصوصاً تیمار شاهد شوند. براساس نتایج حاصل از آزمایش خاک (جدول ۱) که در آن کمبود آهن و روی دیده می‌شود، افزایش عملکرد دانه در نتیجه اعمال تیمارهای محلول‌پاشی قابل انتظار بود. در همین ارتباط گزارش شده است که افزایش عملکرد زمانی که سایر عناصر کم مصرف به خصوص آهن نیز درکنار عنصر روی مصرف شود، بیش‌تر نمایان می‌شود (Taiz and Zeiger, 2015). همچنین در مطالعه اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد دانه ذرت سینگل کراس ۷۰۴، گزارش شده است که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی به دلیل رفع کمبود و همچنین اثر تغذیه‌ای خود احتمالاً سبب افزایش تعادل در رشد و تنظیم فرآیندهای نموی گیاه شده و در نهایت سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود (Karimi *et al.*, 2012). افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر ذرات نانو اکسید روی در شرایط pH قلیایی خاک همانند شرایط تحقیق حاضر (جدول ۱) نیز گزارش شده است (Raddy *et al.*, 2018). در آزمایشی دیگر نیز افزایش ۱۰ درصدی عملکرد دانه ذرت در شرایط اعمال کود نانوذره آهن نسبت به تیمار کنترل گزارش شده است (Jayarambabu *et al.*, 2018).

مقایسه فرم ساده گروه کودهای روی و آهن به دو شکل رایج و نانوذره از نظر تأثیر گذاری بر عملکرد دانه نشان داد (شکل ۱) که در مورد کود آهن تفاوت معنی‌داری بین فرم رایج و نانوذره آن نبود، ولی در مورد کود روی فرم رایج آن به طور معنی‌داری نسبت به فرم نانوذره برتری داشت. در همین ارتباط در مطالعه اثر غلظت‌های مختلف کود نانوذره آهن و روی بر گیاه زراعی ذرت گزارش شده است که کودهای نانوذره آهن ($Fe_2O_3$) و روی (ZnO) در افزایش رشد گیاه در مقایسه با فرم‌های رایج به طور معنی‌داری موثرتر بودند (Fathi and Zahedi, 2014). این نتیجه ممکن است به دلیل شکل، اندازه، توزیع و ویژگی‌های کودهای نانوذره در مقایسه با کودهای رایج باشد (Santás-Miguel *et al.*, 2023).

**جدول۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) گروهی محلول‌پاشی اثر کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات مرتبط با آن در ذرت بذری**

**Table 2- Group analysis variance (mean square) of foliar application of common and nano-particle forms of iron and zinc fertilizers on yield and some related traits in seed corn**

| منابع تغییرات Sources of variance | درجه آزادی Degree of freedom | عملکرد دانه Grain yield | عملکرد علوفه خشک Dry forage yield | شاخص برداشت Harvest index | تعداد بلال در بوته No. cob plant$^{-1}$ | تعداد دانه در بوته No. grain plant$^{-1}$ | وزن هزار دانه 1000 seed weight |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک Block | 2 | 264$^{ns}$ | 12696$^{ns}$ | 3.65$^{ns}$ | 0.001$^{ns}$ | 88222$^{*}$ | 49.6$^{ns}$ |
| گروه محلول‌پاشی Foliar application group | 5 | 42623$^{**}$ | 65194$^{**}$ | 211$^{**}$ | 0.165$^{**}$ | 255354$^{**}$ | 116$^{ns}$ |
| خطا Error | 10 | 2043 | 9360 | 18.2 | 0.0170 | 16441 | 106 |
| درصد تغییرات Percentage of changes | | 14.4 | 6.23 | 11.4 | 7.05 | 13.4 | 9.18 |

$^{ns}$ و $^{**}$ به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

$^{ns}$ and $^{**}$ are respectively insignificant and significant at the probability level of one percent

**جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات مرتبط با آن در ذرت بذری**

**Table 3- Analysis of variance (mean square) of foliar application of common and nano-particle forms of iron and zinc fertilizers on yield and some related traits in seed corn**

| منابع تغییرات Sources of variance | درجه آزادی Degree of freedom | عملکرد دانه Grain yield | عملکرد علوفه خشک Dry forage yield | شاخص برداشت Harvest index | تعداد بلال در بوته No. cob plant$^{-1}$ | تعداد دانه در بوته No. grain plant$^{-1}$ | وزن هزار دانه 1000 seed weight |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک Block | 2 | 2193$^{ns}$ | 24843$^{ns}$ | 0.545$^{ns}$ | 0.004$^{ns}$ | 200850$^{**}$ | 141$^{ns}$ |
| غلظت محلول‌پاشی Foliar application concentration | 12 | 56530$^{**}$ | 131546$^{**}$ | 397$^{**}$ | 0.137$^{*}$ | 215800$^{**}$ | 261$^{ns}$ |
| خطا Error | 24 | 4882 | 30622 | 44.3 | 0.060 | 36496 | 159 |
| درصد تغییرات Percentage of changes | | 11.6 | 11.3 | 16.6 | 13.03 | 18.6 | 11.3 |

$^{ns}$ و $^{**}$ به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

$^{ns}$, $^{*}$ and $^{**}$ are respectively insignificant and significant at the probability level of five and one percent

مقایسه میانگین گروهی کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر عملکرد علوفه خشک نشان داد که گروه کودی روی رایج سبب افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه خشک (۱۸۲۱۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به تیمار شاهد (۱۴۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) با حدود ۲۹ درصد یا حدود ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار شد. سایر گروه‌های کودی اثر معنی‌داری بر افزایش عملکرد علوفه خشک ذرت نداشتند (جدول ۴). بیش‌ترین اثر مثبت بر افزایش عملکرد علوفه خشک مربوط به تیمار ترکیبی آهن نانو۴ × روی نانو۸ با ۳۱ درصد افزایش (۱۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با تیمار شاهد بود. البته این افزایش با اثر مثبت تیمارهای روی رایج۴، روی رایج۸، آهن نانو۴ و آهن رایج۸ تفاوت معنی‌دار نداشت. کم‌ترین عملکرد علوفه خشک در این شرایط در تیمار آهن نانو۸ × روی نانو۴ (۱۱۷۸۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. لازم به ذکر است که این تیمار سبب تولید بیش‌ترین عملکرد دانه شد (جدول ۵). افزایش عملکرد علوفه تحت تأثیر تیمارهای کاربرد عناصر ریزمغذی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است. به طور مثال در مطالعه اثر عناصر غذایی کم مصرف بر ذرت سینگل کراس ۷۰۴ و ذرت شیرین گزارش شده است که اعمال عناصر غذایی کم مصرف اثر معنی‌داری بر عملکرد علوفه خشک داشته است. به نظر می‌رسد که علت افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه خشک در این شرایط افزایش سرعت فتوسنتز و در نتیجه افزایش تولید کربوهیدرات‌های محلول است (Nabavi Moghadam *et al*., 2013; Mohammadi Limaei *et al*., 2019).

مقایسه میانگین‌های گروهی نشان داد که گروه تیمارهای کودی نانوذره و رایج عناصر آهن و روی از طریق افزایش بیش‌تر عملکرد دانه نسبت به عملکرد علوفه خشک، سبب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت شدند. در این شرایط کاربرد گروه نانوذره آهن × نانوذره روی بالاترین شاخص برداشت (۴۷/۸ درصد) و تیمار شاهد پایین‌ترین شاخص برداشت را (۲۵/۵ درصد) داشتند. بنابراین تیمار مذکور حدوداً سبب افزایش ۸۷ درصدی شاخص برداشت نسبت به تیمار شاهد شد. البته این اثر مثبت با اثر گروه‌های آهن رایج و آهن نانوذره تفاوت معنی‌دار نداشت. بر اساس نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که، گروه‌های آهن به طور کلی اثر بیش‌تری بر افزایش شاخص برداشت نسبت به گروه‌های روی داشتند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کودها بر صفت شاخص برداشت (جدول ۵)، نشان داد که تیمار ترکیبی آهن نانوذره ۸ × روی نانوذره ۴ سبب بیش‌ترین افزایش معنی‌دار صفت شاخص برداشت با ۷۱/۹ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (۲۵/۵ درصد) شد. به طور کلی اثر کاربرد کودهای رایج و نانوذره بر شاخص برداشت مشابه بود، و اثر تیمارهای کودی آهن به طور

چشـــمگیری بیش‌تر از تیمارهای کودی روی بود (جدول ۵). علی‌رغم وجود نتـایج موافق (Ghofran Maghsud *et al.*, 2014)، مخالف با نتایج این تحقیق گزارش شده است که تیمار محلول‌پاشـــی کودهای روی و بور اثر معنی‌داری بر شـــاخص برداشت ذرت نداشته است (Wasaya *et al.*, 2017).

مقایسه میانگین صفت تعداد بلال در بوته در جدول ۴ نشان داد، کم‌ترین تعداد بلال در بوته مربوط به تیمار شـــاهد با ۱/۴۲ بلال در بوته بود. اعمال تیمارهای کودی سبب افزایش معنی‌دار این صـفت نسـبت به تیمار شـاهد شـدند. گروه آهن نانوذره با متوسـط ۱/۷۹ بلال در بوته (۲۷ درصـد افزایش نسـبت به تیمار شـــاهد)، کم‌ترین افزایش در تعداد بلال در بوته را ایجاد نمود. بین دیگر تیمارهای کودی تفاوت معنی‌داری از نظر افزایش این صفت دیده نشد. البته از نظر عددی گروه روی رایج با ۴۷ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد، بیش‌ترین اثر مثبت بر تعداد بلال در بوته را داشـــت. به طور کلی اثر کاربرد گروه‌های جداگانه عناصـــر ریزمغذی بیش‌تر از کاربرد ترکیبی آن‌ها بود. همچنین تأثیر فرم کودی رایج نســـبت به نانوذره در افزایش عددی تعداد بلال در بوته بیش‌تر بود. ســـایر غلظت‌های کودی آهن و روی سبب افزایش معنی‌دار تعداد بلال در بوته نسبت به تیمار شاهد شـــدند (جدول ۵). در این شـــرایط بیش‌ترین افزایش معنی‌دار تعداد بلال در بوته نســـبت به تیمار شـــاهد به ترتیب مربوط به تیمارهای روی۴ (۵۹ درصـــد افزایش)، آهن۴ (۴۷ درصـــد افزایش)، آهن نانوذره۸ × روی نانوذره۴ (۴۷ درصـــد افزایش)، آهن نانوذره۴ × روی نانوذره۸ (۴۱ درصد افزایش)، روی نانوذره۴ (۴۱ درصـد افزایش) و آهن۸ (۳۵ درصـد افزایش) بود، که با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند (جدول ۵). افزایش معنی‌دار تعداد بلال در بوته ذرت تحت تأثیر تیمار کودی آهن و روی نسبت به تیمار شاهد نیز گزارش شده است (Singh *et al.*, 2019). اما مخالف با نتایج این تحقیق گزارش شـده اسـت که تیمار عنصـر غذایی روی در غلظت‌های مختلف اثر معنی‌داری بر تعداد بلال در بوته ذرت نداشته است (Rashid *et al.*, 2021). .

گروه‌های کودی ســـبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در بوته نسبت به تیمار شاهد (۳۸۳ دانه در بوته) شدند. در این شرایط تفاوت سایر گروه‌های کودی در افزایش تعداد دانه در بوته نسبت به تیمار شـــاهد با همدیگر معنی‌دار نبود. میزان افزایش تعداد دانه در بوته در این شرایط از ۱۵۰ درصد بیش‌تر بود. بیش‌ترین افزایش عددی در این شـــرایط مربوط به گروه روی نانوذره با ۱۱۷۹ دانه در بوته (۲۰۷ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) بود (جدول ۴). با بررسـی اثر غلظت‌های مختلف کودهای آهن و روی رایج و نانوذره بر صـــفت تعداد دانه در بوته (جدول ۵) مشـخص شـد سـایر غلظت‌ها از ۱۱۶ درصـد در تیمار روی۴ تا ۲۵۶ درصـــد در تیمار آهن نانوذره۴ × روی نانوذره۸ ســـبب افزایش تعداد دانه در بوته نسبت به تیمار شاهد با ۳۸۳ دانه در بوته شـدند (جدول ۵). افزایش معنی‌دار تعداد دانه در بوته تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشـــی غلظت‌های مختلف آهن و روی نانوذره و رایج ممکن اســـت به علت افزایش ذخیره کربوهیدرات دانـه گرده، موجـب افزایش طول عمر دانـه گرده و در نهـایـت افزایش میزان گرده‌افشـــانی و یا اینکه احتمالاً عنصـــر روی با حضور در مناطق مریستمی و افزایش کارایی و تأثیر آن در تولید هورمون اکسین سبب تشکیل تعداد دانه بیش‌تر می‌شود (Fani Akhlagh and Daneshian, 2016). در همین ارتباط گزارش شـــده اســـت که کاربرد کود روی احتمالاً با افزایش ســـرعت فتوسـنتز و متابولیسـم گیاهی باعث انتقال مسـتقیم مواد غذایی به مخزن‌ها (در این مبحث بلال‌ها) شـــده و در نهایت تعداد دانه و عملکرد را افزایش می‌دهد (Jabbari *et al.*, 2020).

با توجه به اهمیت عملکرد دلنه به عنوان مهم‌ترین صـــفت زراعی و اقتصـــادی گیاه، پیدا کردن صـــفت‌هایی که حداکثر همبسـتگی را با این صـفت داشـته باشـند، می‌تواند اصلاح‌گران را برای تولید رقم‌های پرتولید کمک نماید. اســـتفاده از ضـــرایب همبستگی صفت‌ها با همدیگر و همچنین با عملکرد دانه یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای پی‌بردن به ارتباط صـــفت‌های زراعی با همدیگر اســـت (Reddy *et al.*, 2022). در این ارتباط نتایج ضـرایب همبسـتگی نشـان داد (جدول ۹) که عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌داری با صـفات شـاخص برداشـت ($R^2$=0.80**)، تعـداد بلال در بوتـه ($R^2$=0.40**)، تعـداد دانـه در بوتـه ($R^2$=0.61**)، و تعداد دانه در ردیف ($R^2$=0.54**)، داشـت. بر این اساس به نظر می‌رسد که صفت شاخص برداشت و پس از آن صـفت تعداد دانه در بوته صـفات قابل توصـیه در این تحقیق جهت قرارگرفتن در برنامه‌های اصـــلاحی برای تولید رقم‌های پرپتانســـیل ذرت اســـت. البتـه با توجـه بـه نتـایج متفـاوت در همبسـتگی صـفت‌ها با عملکرد دانه (Yahya *et al.*, 2021) به نظر می‌رسـد که همبسـتگی صـفت‌ها با عملکرد دانه تحت تأثیر

نوع تیمارهای اعمال شـده در تحقیقات مختلف نیز قرار می‌گیرد و این مسـاله در تحقیقات بعدی و نیز اسـتفاده اصـلاح گران از نتایج تحقیقات نیز بایستی مدنظر قرار گیرند.

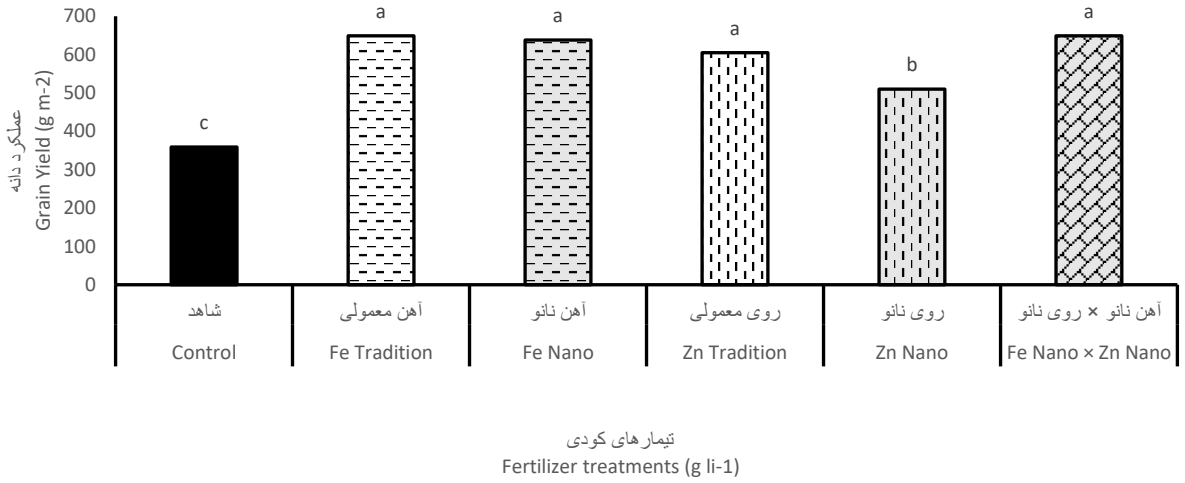
**جدول۴- مقایسه میانگین گروهی اثر محلول‌پاشی کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر برخی خصوصیات مرتبط با عملکرد در ذرت بذری**

**Table 4- Group means comparison of foliar application of common and nano-particle forms of iron and zinc fertilizers on some traits related to yield in seed corn**

| گروه محلول‌پاشی Foliar application group | عملکرد علوفه خشک Dry forage yield ($g/m^2$) | تغییر نسبت به شاهد Change compared to control (%) | شاخص برداشت Harvest index (%) | تعداد بلال در بوته No. cob $plant^{-1}$ | تعداد دانه در بوته No. grain $plant^{-1}$ | وزن هزار دانه 1000 seed weight (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| شاهد Control | 1410 $^{c}$ | | 25.5 $^{c}$ | 1.42 $^{c}$ | 383 $^{b}$ | 115 $^{a}$ |
| آهن رایج Fe Common | 1547 $^{bc}$ | + 10 | 42.4 $^{a}$ | 2.00 $^{ab}$ | 1046 $^{a}$ | 123 $^{a}$ |
| آهن نانو Fe Nano | 1489 $^{bc}$ | + 6 | 43.4 $^{a}$ | 1.79 $^{b}$ | 988 $^{a}$ | 108 $^{a}$ |
| روی رایج Zn Common | 1821 $^{a}$ | + 29 | 33.4 $^{b}$ | 2.08 $^{a}$ | 991 $^{a}$ | 108 $^{a}$ |
| روی نانو Zn Nano | 1596 $^{b}$ | + 13 | 32.5 $^{bc}$ | 1.92 $^{ab}$ | 1179 $^{a}$ | 112 $^{a}$ |
| آهن نانو × روی نانو Fe Nano × Zn Nano | 1451 $^{bc}$ | + 3 | 47.8 $^{a}$ | 1.87 $^{ab}$ | 1148 $^{a}$ | 109 $^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

In each column, the averages with the same letters do not have a significant difference based on the LSD test at the five percent probability level.




**شکل ۱- مقایسه میانگین گروهی اثر محلول‌پاشی کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر عملکرد دانه در ذرت بذری. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.**

**Figure 1- Group means comparison of foliar application of common and nano-particle forms of iron and zinc fertilizers on grain yield in seed Corn. In each column, the averages with the same letters do not have a significant difference based on the LSD test at the five percent probability level.**

**جدول ۵- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر برخی خصوصیات مرتبط با عملکرد در ذرت بذری**

**Table 5- Means comparison of foliar application of different concentrations of common and nano-particle forms of iron and zinc fertilizers on some traits that related to yield in seed corn**

| تیمارهای محلول‌پاشی Spraying treatments ($g\ l^{-1}$) | فرم کود Fertilizer form | عملکرد علوفه خشک Dry forage yield ($g/m^2$) | تغییر نسبت به شاهد Change compared to control (%) | شاخص برداشت Harvest index (%) | تغییر نسبت به شاهد Change compared to control (٪) | تعداد بلال در بوته No.cob $plant^{-1}$ | تغییر نسبت به شاهد Change compared to control (٪) | تعداد دانه در بوته No. grain $plant^{-1}$ | تغییر نسبت به شاهد Change compared to control (٪) | وزن هزار دانه 1000 seed weight (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شاهد Control | | 1410 cd | | 25.5 f | | 1.41 d | | 383 d | | 115 abc |
| آهن ۴ Fe 4 | رایج Common | 1499 bc | + 6 | 45.3 bc | + 77 | 2.08 ab | + 47 | 962 bc | + 151 | 114 abc |
| آهن ۸ Fe 8 | | 1594 abc | + 13 | 39.4 b-d | + 54 | 1.91 abc | + 35 | 1130 abc | + 195 | 133 a |
| آهن ۴ Fe 4 | نانو Nano | 1614 abc | + 14 | 49.1 b | + 92 | 1.83 bc | + 29 | 1095 abc | + 185 | 105 bc |
| آهن ۸ Fe 8 | | 1364 cd | - 3 | 37.6 cde | + 47 | 1.75 bcd | + 24 | 880 bc | + 129 | 110 ab |
| روی ۴ Zn 4 | رایج Common | 1840 a | + 30 | 32.2 def | + 26 | 2.25 a | + 59 | 828 c | + 116 | 119 ab |
| روی ۸ Zn 8 | | 1803 a | + 28 | 34.5 c-f | + 35 | 1.91 abc | + 35 | 1154 ab | + 201 | 97 c |
| روی ۴ Zn 4 | نانو Nano | 1710 ab | + 21 | 30.0 ef | + 17 | 2.00 abc | + 41 | 1351 a | + 252 | 107 bc |
| روی ۸ Zn 8 | | 1482 bc | + 5 | 34.8 c-d | + 36 | 1.83 bc | + 29 | 1009 bc | + 163 | 118 abc |
| آهن۴ × روی۴ Fe4 × Zn4 | | 1339 cd | 5- | 36.2 c-f | + 42 | 1.66 cd | + 17 | 835 bc | + 118 | 98 c |
| آهن۴ × روی۸ Fe4 × Zn8 | نانو Nano | 1850 a | + 31 | 43.1 bcd | + 69 | 2.00 abc | + 41 | 1365 a | + 256 | 112 abc |
| آهن۸ × روی۴ Fe8 × Zn4 | | 1178 d | - 16 | 71.9 a | + 182 | 2.08 ab | + 47 | 1333 a | + 248 | 111 bc |
| آهن۸ × روی۸ Fe8 × Zn8 | | 1438 bcd | + 2 | 40.0 b-e | + 56 | 1.75 bcd | + 24 | 1058 abc | + 176 | 111 bc |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

In each column, the averages with the same letters do not have a significant difference based on the LSD test at the five percent probability level.

**جدول۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر گروه‌های محلول‌پاشی کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر برخی خصوصیات مرتبط با عملکرد دانه ذرت**

**Table 6- Analysis of variance (mean square) of common and nano-particle forms of iron and zinc fertilizers on some characteristics related to yield in seed corn**

| منابع تغییرات Sources of variance | درجه آزادی Degree of freedom | طول بلال Cob length | قطر بلال Cob diameter | تعداد ردیف در بلال Number of rows in cob | تعداد دانه در ردیف Number of seeds in cob | ارتفاع بوته Plant height | قطر ساقه Stem diameter |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک Block | 2 | $0.315^{ns}$ | $0.960^{ns}$ | $0.262^{ns}$ | $0.672^{ns}$ | $0.002^{ns}$ | $0.534^{ns}$ |
| گروه محلول‌پاشی Foliar application groups | 5 | $0.752^{ns}$ | $0.878^{ns}$ | $2.34^{ns}$ | $76.5^{**}$ | $0.009^{ns}$ | $0.740^{ns}$ |
| خطا Error | 10 | 0.316 | 2.10 | 1.20 | 1.49 | 0.003 | 1.47 |
| درصد تغییرات Percentage of changes | | 3.44 | 4.22 | 6.61 | 4.31 | 3.52 | 5.27 |

$^{ns}$ و $^{**}$ به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

$^{ns}$ and $^{**}$ are respectively insignificant and significant at the probability level of one percent

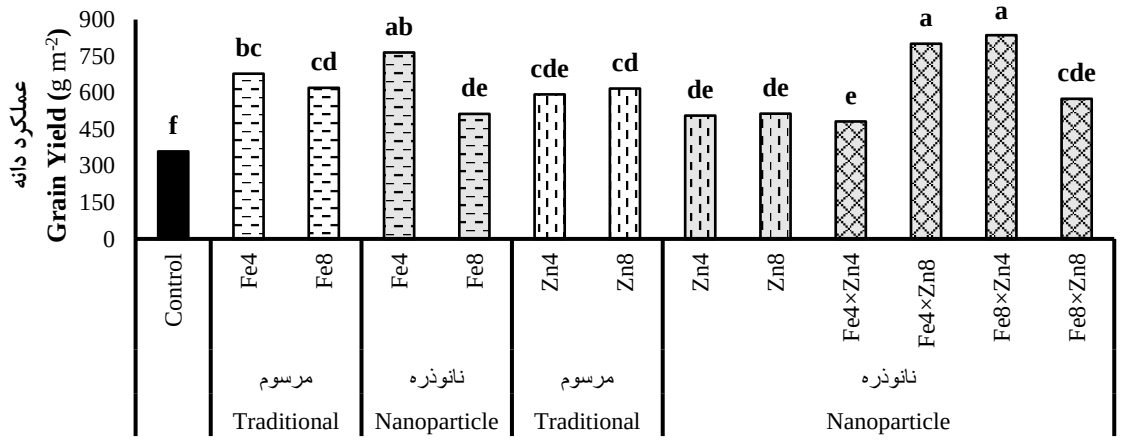
**جدول۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر برخی خصوصیات مرتبط با عملکرد دانه در ذرت بذری**

**Table 7- Analysis of variance (mean square) of different concentrations of common and nano-particle forms of iron and zinc fertilizers on some traits that related to yield in seed Corn**

| منابع تغییرات Sources of variance | درجه آزادی Degree of freedom | طول بلال Cob length | قطر بلال Cob diameter | تعداد ردیف در بلال Number of rows in cob | تعداد دانه در ردیف Number of seeds in cob | ارتفاع بوته Plant height | قطر ساقه Stem diameter |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک Block | 2 | $0.800^{ns}$ | $2.23^{ns}$ | $0.52^{ns}$ | $0.88^{ns}$ | $0.003^{ns}$ | $0.050^{ns}$ |
| تیمار محلول‌پاشی Foliar application treatments | 12 | $0.526^{ns}$ | $3.41^{ns}$ | $2.17^{ns}$ | $37.7^{**}$ | $0.021^{**}$ | $4.043^{ns}$ |
| خطا Error | 24 | 0.547 | 2.18 | 1.51 | 3.33 | 0.005 | 2.223 |
| درصد تغییرات Percentage of changes | | 4.56 | 4.35 | 7.27 | 6.21 | 4.36 | 6.49 |

$^{ns}$ و $^{**}$ به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

$^{ns}$ and $^{**}$ are respectively insignificant and significant at the probability level of one percent




**شکل ۲- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر عملکرد دانه ذرت بذری. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.**

**Figure 2- Means comparison of foliar application of different concentrations of common and nano-particle forms of iron and zinc fertilizers on grain yield of seed Corn. In each column, the averages with the same letters do not have a significant difference based on the LSD test at the five percent probability level.**

با توجه به افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی، به نظر می‌رسد این افزایش از طریق تغییر در وزن هزار دانه اعمال نشده است، و احتمالاً تغییر در تعداد دانه در بوته عامل اصلی افزایش عملکرد در این شرایط تحت تأثیر تیمارهای کودی مختلف باشد. بین سایر اجزاء عملکرد، وزن هزار دانه از جمله اجزایی است که دارای وراثت پذیری بالایی از والدین است. بنابراین بیش‌تر تحت تأثیر کنترل ژنتیکی است و کم‌تر تحت‌تأثیر عوامل محیطی از جمله تیمارهای کودهی همانند نتایج این تحقیق قرار می‌گیرد (Moradi and Soltani Howyzeh, 2018). همچنین گزارش شده است که تیمارهای کود آهن و روی اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه کتان، بالنگوی شهری و کاملینا نداشته و تیمارهای کودی بیش‌تر از طریق تغییر در تعداد دانه در بوته سبب افزایش عملکرد دانه شدند (Ajand *et al.*, 2021). اما مخالف با نتایج این تحقیق در

گیاهان نخود، سویا و گندم افزایش وزن هزار دانه در اثر اعمال تیمارهای عناصر ریزمغذی و در نتیجه آن افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گزارش شده است (Vaziri Kateshori *et al.*, 2013; Afyooni *et al.*, 2015; Kobraee and Shamsi, 2015). البته این اختلاف ممکن است به دلیل تفاوت در نوع گیاه با ساز و کار فیزیولوژیک متفاوت و همچنین مرحله نموی اعمال عناصر ریزمغذی باشد.

نتایج مطالعه ضرایب همبستگی نشان داد (جدول ۹) دو صفت وزن هزار دانه و عملکرد علوفه خشک کم‌ترین همبستگی را با عملکرد دلنه تحت تیمارهای این آزمایش داشته و به نظر می‌رسد کم‌ترین اهمیت را برای قرار گرفتن در برنامه اصلاحی برای این شرایط دارند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که گروه‌های مختلف کودی بر طول بلال، قطر بلال، تعداد ردیف در بلال، ارتفاع بوته و قطر ساقه اثر معنی‌دار نداشتند، ولی بر تعداد دانه در ردیف اثر معنی‌دار داشتند. همچنین تیمار غلظت‌های مختلف کاربرد کودها از بین صفت‌های فوق، صرفاً بر تعداد دانه در ردیف و ارتفاع بوته اثر داشتند (جدول ۶ و ۷). نتیجه مشابهی در ذرت شیرین نیز گزارش شده است (Jolli *et al.*, 2020). اثر معنی‌دار گروه‌های کودی کم مصرف در افزایش تعداد دلنه در ردیف به این دلیل است که چندین آنزیم گیاهی را فعال می‌کنند که در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، سنتز پروتئین و تشکیل دانه گرده نقش دارند (Jeet *et al.*, 2012).

**جدول ۸ - مقایسه میانگین گروهی اثر کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر تعداد دانه در ردیف (الف) و اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف کودهای رایج و نانوذره آهن و روی بر تعداد دانه در ردیف و ارتفاع بوته ذرت بذری (ب)**

**Table 8 - Mean comparison of the effect of fertilizer groups on the number of grains in cob (A) and mean comparison of the impact of various concentrations of iron and zinc nanoparticles and common form on the number of grains in cob and the plant height seed corn (B).**

| تیمارهای محلول‌پاشی Foliar treatments ($g\ l^{-1}$) | فرم کود Fertilizer form | تعداد دانه در ردیف Number of grains in cub | ارتفاع بوته Plant height (m) |
|---|---|---|---|
| شاهد Control | | 18.1 $^{c}$ | 1.54$^{a-d}$ |
| آهن ۴ Fe 4 | معمولی Common | 29.6 $^{ab}$ | 1.55$^{abc}$ |
| آهن ۸ Fe 8 | | 31.2 $^{a}$ | 1.38$^{e}$ |
| آهن ۴ Fe 4 | نانو Nano | 30.7 $^{ab}$ | 1.61$^{ab}$ |
| آهن ۸ Fe 8 | | 29.4 $^{ab}$ | 1.47 $^{cde}$ |
| روی ۴ Zn 4 | معمولی Common | 30.3 $^{ab}$ | 1.43$^{de}$ |
| روی ۸ Zn 8 | | 32 $^{a}$ | 1.56 $^{abc}$ |
| روی ۴ Zn 4 | نانو Nano | 30.7 $^{ab}$ | 1.65 $^{a}$ |
| روی ۸ Zn 8 | | 30.3 $^{ab}$ | 1.53 $^{bcd}$ |
| آهن ۴ × روی ۴ Fe 4 × Zn 4 | نانو Nano | 27.9 $^{b}$ | 1.52 $^{bcd}$ |
| آهن ۴ × روی ۸ Fe 4 × Zn 8 | | 31.6 $^{a}$ | 1.64 $^{ab}$ |
| آهن ۸ × روی ۴ Fe 8 × Zn 4 | | 29.9 $^{ab}$ | 1.64 $^{ab}$ |
| آهن ۸ × روی ۸ Fe 8 × Zn 8 | | 29.7 $^{ab}$ | 1.60$^{ab}$ |

**الف A** **ب B** ⟵

| گروه محلول‌پاشی **Foliar application group** | تعداد دانه در ردیف **Number of grains in cob** |
|---|---|
| شاهد **Control** | 18.1$^{b}$ |
| آهن معمولی **Fe Common** | 30.4$^{a}$ |
| آهن نانو **Fe Nano** | 30.1$^{a}$ |
| روی معمولی **Zn Common** | 30.5$^{a}$ |
| روی نانو **Zn Nano** | 30.5$^{a}$ |
| آهن نانو × روی نانو **Fe Nano × Zn Nano** | 29.8$^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

In each column, the averages with the same letters do not have a significant difference based on the LSD test at the five percent probability level

**جدول ۹- نتایج ضرایب همبستگی عملکرد دانه با برخی صفات زراعی در ذرت تحت‌تاثیر محلول‌پاشی فرم‌های رایج و نانوذره آهن و روی**

**Table 9- Correlation coefficients of grain yield with some agronomic traits in corn under the effect of foliar application common and nanoparticle forms of iron and zinc**

| صفت‌ها Traits | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عملکرد دانه (۱) Grain yield | 1 | | | | | | | | | | | |
| عملکردعلوفه خشک (۲) Dry Forage yield | - 0.13 ns | 1 | | | | | | | | | | |
| شاخص برداشت (۳) Harvest Index | 0.80 ** | -0.66 ** | 1 | | | | | | | | | |
| تعداد بلال در بوته (۴) No. cob plant$^{-1}$ | 0.40 ** | 0.26 ns | 0.13 ns | 1 | | | | | | | | |
| تعداد دانه در بوته (۵) No. Grain plant$^{-1}$ | 0.61 ** | -0.12 ns | 0.53 ** | 0.48 ** | 1 | | | | | | | |
| وزن هزار دانه (۶) 1000 grain weight | -0.03 ns | 0.20 ns | -0.19 ns | -0.08 ns | -0.25 ns | 1 | | | | | | |
| طول بلال (۷) Cob length | 0.10 ns | 0.13 ns | 0.02 ns | -0.08 ns | 0.45 ** | 0.19 ns | 1 | | | | | |
| قطر بلال (۸) Cob diameter | 0.12 ns | 0.05 ns | 0.07 ns | 0.08 ns | -0.04 ns | 0.20 ns | 0.19 ns | 1 | | | | |
| تعداد ردیف در بلال (۹) No. of row cob$^{-1}$ | 0.30 ns | -0.14 ns | 0.34 ** | 0.41 ** | 0.33 ** | -0.45 ** | -0.25 ns | 0.50 ** | 1 | | | |
| تعداد دانه در ردیف (۱۰) No. of grain row$^{-1}$ | 0.54 ** | 0.01 ns | 0.33 * | 0.51 ** | 0.61 ** | -0.28 ns | -0.04 ns | -0.01 ns | 0.36 ** | 1 | | |
| طول بوته (۱۱) Plant height | 0.30 ns | 0.15 ns | 0.31 ns | -0.17 ns | 0.28 ns | 0.17 ns | 0.05 ns | -0.05 ns | 0.01 ns | 0.04 ns | 1 | |
| قطر ساقه (۱۲) Stem diameter | -0.11 ns | -0.12 ns | -0.05 ns | 0.10 ns | 0.03 ns | 0.25 ns | -0.01 ns | -0.04 ns | -0.21 ns | -0.03 ns | -0.28 ns | 1 |

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns , * and ** are respectively insignificant and significant at the probability level of five and one percent

مقایسه میانگین صفت تعداد دلنه در ردیف تحت تأثیر گروه‌های مختلف کاربرد کودهای رایج و نانوذره آهن و روی نشان داد که کاربرد گروه‌های کود رایج و نانوذره به طور معنی‌داری سبب افزایش تعداد دانه در ردیف نسبت به تیمار شاهد (۱۸/۱ دانه در ردیف) شدند. در این شرایط گروه‌های مختلف کودی بین ۶۴ تا ۶۸ درصد سبب افزایش تعداد دانه در ردیف نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۸ الف). مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کودهای معمول و نانوذره نشان داد (جدول ۹)، کم‌ترین تعداد دانه در ردیف مربوط به تیمار شاهد بود. غلظت‌های مختلف تیمارهای کودی نیز بین ۶۲ تا ۷۶ درصد این صفت را افزایش دادند. اگرچه تفاوت معنی‌داری بین این تیمارهای نبود، اما از نظر عددی تیمار روی معمول ۸ در هزار با ۷۶ درصد، بیش‌ترین افزایش در تعداد دانه در ردیف را باعث شدند (جدول ۸ ب). کاربرد کودهای روی و آهن به صورت محلول‌پاشی علاوه بر برطرف نمودن کمبود مواد غذایی موجب کاهش اثرات آنتاگونیستی نیز می‌شود (Vaziri Kateshori *et al.*, 2013). براساس نتایج یک پژوهش اعمال تیمارهای محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی آهن و روی، سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در بوته گندم شد. همچنین غلظت این عناصر در درون بذر افزایش یافت (Pahlavanrad *et al.*, 2008).

با بررسی اثر غلظت‌های مختلف کاربرد کودهای معمول و نانوذره بر ارتفاع بوته مشخص شد که کود نانوذره روی۴ موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد شد (۷ درصد افزایش). همچنین بعد از این تیمار تیمارهای کاربرد ترکیبی آهن۴ × روی۸ و آهن۸ × روی۴ با ۶ درصد افزایش ارتفاع نسبت به تیمار شاهد در گروه دوم قرار گرفتند (جدول ۸ب). از آنجا که عنصر روی بر بیوسنتز اسید آمینه تریپتوفان (پیش

ماده سنتز اکسین) اثر می‌گذارد، بنابراین کمبود عنصر روی از طریق کاهش سنتز هورمون اکسین می‌تواند ارتفاع بوته را به طور معنی‌دار کاهش دهد (Castillo-González *et al.*, 2018). در این ارتباط افزایش ارتفاع بوته تحت تأثیر تیمارهای عناصر غذایی کم مصرف مانند آهن و روی در لاین‌های مادری و پدری هیبریدهای جدید ذرت گزارش شده است (Chinipardaz *et al.*, 2022).

برخلاف نتایج این تحقیق، در برخی تحقیقات گزارش شده است که کودهای ریزمغذی از جمله آهن و روی با تأثیر بر کارایی فتوسیستم‌ها و در نتیجه بهبود حرکت الکترون‌ها در زنجیره انتقال بر فتوسنتز گیاه تأثیر گذاشته و در نتیجه از طریق ساخته شدن بیش‌تر فتواسیمیلات سبب افزایش قطر ساقه گیاهان زراعی می‌شود (Malakoti and Tehrani, 2000) و یا تغذیه گیاه با عناصر ریزمغذی ارتفاع بوته، عملکرد تک بوته و قطر ساقه نخود را به شکل معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sarbandi *et al.*, 2012).

## نتیجه‌گیری کلی

گروه‌های کودی رایج و نانوذره آهن و روی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت نسبت به تیمار شاهد (۳۵۹۰ کیلوگرم در هکتار) شدند. بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه در گروه کودی آهن رایج و گروه ترکیبی آهن نانوذره × روی نانوذره با ۸۱ درصد افزایش عملکرد نسبت به تیمار شاهد دیده شد. همچنین بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای کودی ترکیبی آهن نانوذره۴ × روی نانوذره۸ و آهن نانوذره۸ × روی نانوذره۴ به ترتیب با ۱۲۳ و ۱۳۲ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد به دست آمد. برخلاف عنصر روی، بین کودهای رایج و نانوذره آهن از نظر تأثیر بر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. صفت تعداد دانه در بوته نسبت به وزن هزار دانه بیش‌تر تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت. با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد که در شرایط کمبود عناصر ریزمغذی، صفت تعداد دانه در بوته عامل اصلی محدود کننده عملکرد دانه است. بنابراین احتمالاً در برنامه‌های اصلاحی می‌تواند مدنظر اصلاح‌گران قرار گیرد.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت مالی دانشگاه رازی در اجرای این تحقیق قدردانی می‌شود.

**References**

Afyooni, D., Allahdadi, E., Akbari, G. and Najafian, G., 2015. Evaluation of tolerance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to terminal drought stress based on some agronomic traits. *Journal of Arid Biome*, *5*(1), pp.1-17. [In Persian].

Ajand, M., Saeidi, M., Beheshti, Al Agha, A. and Kahrizi, D., 2021. Effect of iron and zinc foliar application on some physiological characteristics of Dragons head (*lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer), Camelina (*Camelina sativa* L.) and Linseed (*Linum usitatissimum* L.) under late season water deficit. Ph.D. Thesis, Razi University. 387pp. [In Persian].

Bhardwaj, A.K., Arya, G., Kumar, R., Lamy, H., Hadi, P.A., Poonam, J., Prem, L.K. and Gyanendra, P.S., 2022. Switching to nano nutrients for sustaining agroecosystems and environment: the challenges and benefits in moving up from ionic to particle feeding. *Journal of Nanobiotechnology*, *20*, pp.19. **doi: 10.1186/s12951-021-01177-9**

Castillo-González, J., Ojeda-Barrios, D., Hernández-Rodríguez, A., González-Franco, A.C., Robles-Hernández, L. and Rogelio López-Ochoa, G., 2018. Zink metaloenzymes in plants. *Interciencia*, *43*(4), pp.242-248.

Chaudhary, D.P., Kumar, A., Kumar, R., Singode, A., Mukri, G., Sah, R.P., Tiwana, U.S. and Kumar, B., 2016. Evaluation of normal and specialty corn for fodder yield and quality traits. *Range Management and*

*Agroforestry*, *37*, pp.79–83.

Chinipardaz, F., Babaienejad, T., Gholami, A. and Barzegari, M., 2022. Grain yield and micronutrient concentrations of maize parental lines of new hybrid genotypes affected by the foliar application of micronutrients. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *28*(2), pp.411-424. **doi: 10.1007/s12298-022-01160-0**

Daneshmandi, M.S. and Seyyedi, S.M., 2019. Nutrient availability and saffron corms growth affected by composted pistachio residues and commercial poultry manure in a calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *50*(12), pp.1465-1475. **doi: 10.1080/00103624.2019.1626871**

Dass, A., Rajanna, G.A., Babu, S., Lal, S.K., Choudhary, A.K., Singh, R., Rathore, S.S., Kaur, R., Dhar, S., Singh, T., Raj, R., Shekhawat, K., Singh, C. and Kumar, B., 2004. Foliar application of macro- and micronutrients improves the productivity, economic returns, and resource-use efficiency of Soybean in a semiarid climate. *Sustainability*, *14*, pp.5825. **doi: 10.3390/su14105825**

Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Motaleb, K. and Parasana, B.M., 2022. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Science*, *14*, pp.1295–1319. **doi: 10.1007/s12571-022-01288-7**

F.A.O., Ifad., UNICEF., W.F.P. and W.H.O., 2021. The state of food security and nutrition in the world 2021: transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. FAO, Rome.

Fakharzadeh, S., Hafizi, M., Baghaei, M.A., Etesamim M., Khayamzadeh, M., Kalanaky, S., Akbari, M.E. and Nazaran, M.H., 2020. Using nano chelating technology for biofortification and yield increase in Rice. *Scientific Reports*, *10*(1), pp.4351. **doi: 10.1038/s41598-020-60189-x**

Fani Akhlagh, E. and Daneshian, J., 2016. The effects of Zinc and Manganese on yield and yield components winter canola varieties in Gilan. *New Finding in Agriculture, 10*(3), pp.179-191. [In Persian].

Fathi, A. and Zahedi, M., 2014. The Effects of zinc and iron oxide nano-particles on the growth and ion content of two corn cultivars in different soil salinity. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(1), pp.110-117. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v12i1.36647**

Ghofran Maghsud, S., Mobasser, H.R. and Fanaei, H.R., 2014. Effect of foliar application and time foliar application microelements (Zn, Fe, Mn) on safflower. *Journal of Novel Applied Sciences*, *3*(4), pp.396-399.

Gul, H., Rahman, S., Shahzad, A., Gul, S., Qian, M., Xiao, Q. and Liu, Z., 2021. Maize (*Zea mays* L.) productivity in response to nitrogen management in Pakistan. *American Journal of Plant Sciences, 12*, pp.1173-1179. **doi: 10.4236/ajps.2021.128081**

Jabbari, H., Khadem, S., Mozafari, H. and Safavi Fard, N., 2020. The effect of foliar application of zinc element and transplanting time on agronomic and physiological characteristics of two rapeseed cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology*, *12*(42), pp.41-52. [In Persian].

Jayarambabu, N., Rao, K., Park, S.H. and Rajendar, V., 2018. Biogenic synthesized Fe3O4 nanoparticles effect on growth parameter of maize (*Zea mays* L.). *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, *13*, pp.903-

913.

Jeet, S., Singh, J.P., Kumar, R., Prasad, R.K., Kumar, P., Kumari, A. and Prakash, P., 2012. Effect of nitrogen and sulphur levels on yield, economics and quality of QPM hybrids under dryland condition of Eastern Uttar Pradesh, India. *Journal of Agricultural Science*, *4*(9), pp.31. **doi: 10.5539/jas.v4n9p31**

Jolli, R.B., Nayak, V.H., Boranayaka, M.B. and Latha, H.C., 2020. Effect of foliar application of zinc, boron and iron on seed yield and quality of sweet corn cv. Madhuri. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *9*(5), pp.914-919.

Joshi, P., Yasin, M. and Sundaram, P., 2018. Genetic variability, heritability and genetic advance study for seed yield and yield component traits in a chickpea recombinant inbred line (RIL) population. *International Journal of Pure and Applied Bioscience, 6*, pp.136–141. **doi: 10.18782/2320-7051.6231**

Karimi, Z., Nasrolazadeh Asl, A., Jalili, F. and Valiloo, R., 2012. The effect of Barvar-2 phosphate biofertilizer and foliar applications of micro nutrient on yield and yield components of grain corn (*Zea mays* L.). *Journal of Research in Crop Science*, *15*(4), pp.33–44. [In Persian].

Kaur, K., 2022. Corn: a crop with multiple health benefits. *The Pharma Innovation Journal*, *11*(6), pp.1579-1582.

Khalid, U., Sher, F., Noreen, S., Lima, E.C., Rasheed, T., Sehar, S. and Amami, R., 2022. Comparative effects of conventional and nano-enabled fertilizers on morphological and physiological attributes of *Caesalpinia bonducella* plants. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *21*(1), pp.61-72. **doi: 10.1016/j.jssas.2021.06.011**

Kobraee, S. and Shamsi, K., 2015. Relationship between oil, protein and dry matter in soybean seed with some of micronutrient's fertilization. *Research Journal of Soil Biology*, *7*(2), pp.56-63. **doi: 10.3923/rjsb.2015.56.63**

Malakoti, M.J. and Tehrani, M.M., 2000. Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products. 2nd Ed. Tehran University Press. [In Persian].

Ministry of Agriculture - Jihad. 2022. Information and communication technology center. Available at Web site https://ajkhz.ir/main/index.php/download/akj1-keshvar-1399-1400.pdf

Mohammadi Limaei, A. and Majidian, M., 2019. Effects of foliar application of zinc, boron and copper micronutrients on growth indices and yield of sweet corn. *Journal of Plant Process and Function*, *8*(33), pp.431-448. [In Persian].

Moradi, M. and Soltani Howyzeh, M., 2018. Evaluation of genetic diversity and heritability of the grain yield and yield components in spring Rapeseed cultivars. *Journal of Crop Breeding, 10*(26), pp.207-214. [In Persian]. **doi: 10.29252/jcb.10.26.207**

Nabavi Moghadam, R., Saberi, M.H. and Sayyari, M.H., 2013. Effect of soil application of iron and manganese sulfate on quantitative and qualitative characteristics of forage maize hybrid single cross 704. *Journal of Crops Improvement*, *15*(2), pp.75-86. [In Persian]. **doi: 10.22059/jci.2013.36100**

Narimani, H., Rahimi, M.M., Ahmadikhah, A. and Vaezi, B., 2010. Study on the effects of foliar spray of micronutrient on yield and yield components of durum wheat. *Archives of Applied Science Research*, *2*(6), pp.168-176.

Pahlavanrad, M.R., Keykha, G.A. and Naroueirad, M.R., 2008. Effect of application of Zn, Fe and Mn on yield, yield component, nutrient concentration and uptake in wheat grain. *Pajouhesh & Sazandegi*, *21*(2), pp.142–150. [In Persian].

Panda, J., Nandi, A., Mishra, S.P., Pal, A.K., Pattnaik, A.K. and Jena, N.K., 2020. Effects of nano fertilizer on yield, yield attributes and economics in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *9*(05), pp.2583-2591. **doi: 10.20546/ijcmas.2020.905.295**

Qureshi, A., Singh, D.K. and Dwivedi, S., 2018. Nano-fertilizers: a novel way for enhancing nutrient use efficiency and crop productivity. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*, pp.3325-3335. **doi: 10.20546/ijcmas.2018.702.398**

Raddy, R., Salimath, M., Geetha, K. and Shankar, A., 2018. ZnO nanoparticle improves maize growth, yield and seed zinc under high soil pH condition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 1593-1601. **doi: 10.20546/ijcmas.2018.712.187**

Ranilla, L.G., Rios-Gonzales, B.A., Ramírez-Pinto, M.F., Fuentealba, C., Pedreschi, R. and Shetty, K., 2021. Primary and phenolic metabolites analyses, in vitro health-relevant bioactivity and physical characteristics of purple corn (*Zea mays* L.) grown at two Andean geographical locations. *Metabolites*, *11*(11), pp.722. **doi: 10.3390/metabo11110722**

Rashid, M.H., Uddin, F.J., Mostofa, M.G., Sarkar, S.K., Sarkar, A. and Ahmed, I.M., 2021. Growth and yield response of hybrid maize to arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and zinc fertilizer management. *Fundamental and Applied Agriculture*, *6*(3), pp.291-302. **doi: 10.5455/faa.126949**

Reddy, S.G.M., Lal, G.M., Krishna, T.V., Reddy, Y.V.S. and Sandeep, N., 2022. Correlation and path coefficient analysis for grain yield components in maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Plant & Soil Science*, *34*(23), pp.24-36. **doi: 10.9734/ijpss/2022/v34i2331558**

Santás-Miguel, V., Arias-Estévez, M., Rodríguez-Seijo, A. and Arenas-Lago, D., 2023. Use of metal nanoparticles in agriculture. A review on the effects on plant germination. *Environmental Pollution*, *1*(334), pp.122222. **doi: 10.1016/j.envpol.2023.122222**

Sarbandi, H., Madani, H. and Changizi, M., 2012. Evaluation of the effect of leaf feeding of micronutrient elements in the growth stages and some morphological characteristics and yield of rainfed chickpea. The first national conference on sustainable development of agriculture and healthy environment, [In Persian].

Singh, S., Thalkar, M.G., Brar, T.S., Singh, R. and Singh, K., 2019. Effect of fly ash and micronutrients (Zn and Fe) on yield of maize crop. *Plant Archives*, *19*(2), pp.2664-2666.

Taiz, L. and Zeiger, E., 2015. Plant Physiology and Development. 6th Edition, Sinauer Associates, Sunderland, CT. **doi: 10.4236/ojn.2014.43019**

Vaziri Kateshori, S., Daneshvar, M., Sohrabi, A. and Nazarian Firoz Abadi, F., 2013. Effects of foliar application of P, Zn and Fe on grain yield and yield components of Chickpea. *Journal of Crop Improvement*, *15*(2), pp.17-30. [In Persian]. **doi: 10.22059/jci.2013.36096**

Wasaya, A., Shahzad Shabir, M., Hussain, M., Ansar, M., Aziz, A., Hassan, W. and Ahmad, I., 2017. Foliar

application of zinc and boron improved the productivity and net returns of maize grown under rainfed conditions of Pothwar plateau. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *17*(1), pp.33-45. **doi: 10.4067/s0718-95162017005000003**

**Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 4, Winter 2024, P. 345-362**

# Comparison of the effect of common and nanoparticle chelates of iron and zinc on yield and its components in corn

**Hayedeh Naserizadeh[1], Mohsen Saeidi[2*], Hamid Reza Chaghazardi[2]**

[1] M.Sc Graduate in Agrotechnology, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
[2] Plant Production and Genetic Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran
[*]Corresponding Author: msaeidi@razi.ac.ir

Received: 7 August 2023 Accepted: 14 October 2023 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.410596.1366**

## Abstract

**Introduction:** Despite the high importance of corn seeds in various uses like green cobs, baby cobs, sweet corn, and popcorn, the production of oil, starch, dextrose, and syrup, less than ten percent of corn grains consumed in the country is supplied through domestic production. Deficiencies in the absorbable form of iron (Fe) and zinc (Zn) exist in most agricultural lands worldwide. This deficiency severely reduces the quantity and quality of crop yields such as maize. Lack of micronutrients in most agricultural soils of arid and semi-arid regions, such as most farming regions of Iran, is due to low absorbable form of micronutrients, imbalance with NPK fertilizers, high pH and low percentage of organic matters in soil and high bicarbonate content in irrigation water. By eliminating the lack of micronutrients through foliar spraying, it is possible to increase the grain yield of agricultural plants. Therefore, this study aimed to investigate the effect of traditional and nanoparticle forms of iron and zinc on some single cross-600 popcorn agronomic traits.

**Materials and Methods:** This research was conducted as a completely randomized block design with three replications in the research farm of Razi University, located in Kermanshah city at 1319 meters above sea level in the crop year 2019-2020. This research investigated popcorn (single cross 600) with maternal line K1533 and paternal line ZK4722AA. In each block, there are 13 foliar treatments, including traditional and nanoparticle forms of iron and zinc (zero, 4, and 8 g lit-1) and combined nanoparticle treatments of iron4 × zinc4, iron4 × zinc8, iron8 × zinc4, and iron8× zinc8. The foliar spraying treatments were applied twice at the beginning of vegetative growth and the beginning of flowering. The data were subjected to analysis of variance by SAS, and means Fisher's Protected method (LSD 5%) was used for mean separation.

**Results and Discussion:** The results showed that all fertilizer concentrations and fertilizer groups (traditional iron, nanoparticle iron, traditional zinc, nanoparticle zinc, and combined forms) caused a significant increase in grain yield, dry forage yield, harvest index, the number of cobs per plant, the number of seeds in cobs and the number of rows in cob compared to the control treatment. However, they had no significant effect on the weight of 1000 seeds. The highest increase in grain yield compared to the control treatment (3590 kg $ha^{-1}$) was related to the two treatment groups of traditional iron and nanoparticle iron×nanoparticle zinc with 81%. The treatment of iron nanoparticle8×zinc nanoparticle4 caused the most significant increase in grain yield (132%) compared to the control treatment. The number of seeds per plant was affected by fertilizer treatments more than the trait of the 1000 seed weight. The 1000 seed weight is probably controlled under the influence of genetic factors. It seems that the foliar application of micronutrients by eliminating their deficiency and their nutritional effect probably increases the balance in the growth and regulation of plant development processes and ultimately causes a significant increase in grain yield. Different concentrations of iron and zinc nanoparticle fertilizers were significantly more effective in increasing grain yield than different concentrations of iron and zinc common fertilizers. This result may be due to the characteristics of shape, size, distribution, and nanoparticle fertilizers compared to common fertilizers.

**Conclusion:** The significant increase in grain yield under the influence of foliar spraying treatments indicated a significant lack of absorbable forms of iron and zinc elements and their critical role in the formation of corn grain yield in similar areas (arid and semiarid regions). Nanoparticle forms of iron and zinc fertilizers increase grain yield more effectively than traditional forms.

**Keywords:** Dry forage yield, Plant height, Single-cross, Stem diameter, The 1000 seed weight, The number of seeds in row