



Investigating the effect of foliar application of zinc and urea at different growth stages of wheat on the concentration of grain nutrient and the amount of sucrose and total carbohydrates during the grain filling stage

Elham Rashnavadi¹ , Mohammad Javad Zarea^{1,2} & Nosratollah Abbasi¹

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

² Crop and Horticultural Science Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. AREEO, Sanandaj, Iran.

Corresponding author. E-mail: mj.zarea@ilam.ac.ir

ABSTRACT

Introduction: In arid and semi-arid regions, the availability of essential nutrients like zinc in soil is severely limited, leading to low concentrations of this crucial micronutrient in wheat grains. This poses a significant challenge, as cereals are a staple food source for people in developing countries, making zinc deficiency a widespread issue affecting a large portion of the global population. Foliar application of zinc is a widely adopted method to boost zinc concentration in grains. However, there is limited information on its combined use with urea fertilizer and its application at various stages of wheat growth. This study investigates the impact of foliar application of zinc, both alone and in combination with urea fertilizer, at different stages of wheat growth on nutrient concentration and total soluble sugars in wheat grains.

Materials and methods: The field experiment was carried out during the 2024-2025 crop year under rainfed conditions. A 3% (W/V) solution of zinc sulfate heptahydrate (3 kg/ha) was applied alone or with 3% urea (30 kg/ha) at a foliar spray volume of 1000 liter/ha. The study employed a randomized complete block design with three replications. Foliar sprays were applied at four growth stages: stem elongation, booting, flowering, and milk stage. Measurements of grain yield and the concentration of zinc, iron, and manganese in wheat straw and grain were taken at maturity. In a controlled pot experiment, the impact of micronutrient zinc and zinc + urea foliar sprays on total soluble sugar and sucrose levels were examined at two intervals, 14 and 21 days post-flowering, under rainfed conditions.

Results: The foliar application of zinc sulfate + urea at the booting stage notably increased grain yield, grain nutrients compared to the control. The highest grain iron (Fe) concentration (33 mg/kg) was achieved with zinc + urea application at the booting stage. Zinc + urea application at flowering significantly enhanced grain zinc (Zn) concentration (25 mg/kg), increasing it by approximately 1.5 times compared to the control. Regardless of application timing, the zinc + urea combination had a greater effect on grain manganese content than zinc alone or the control. At flowering, this combination increased grain Mn concentration by 2.3 times compared to the control. Under pot conditions, applying zinc + urea at flowering increased sucrose and total soluble sugar concentrations in the grain.

Conclusion: The study demonstrates that the combined use of urea fertilizer with zinc sulfate in foliar sprays significantly enhances grain yield and nutrient concentration. The timing of application is crucial, with specific growth stages yielding better results. These findings highlight that foliar spraying of zinc nutrient and urea fertilizer can effectively increase the sucrose and total soluble sugars content of wheat grains. Implementing these practices could be a valuable strategy for improving wheat nutrition in regions with zinc-deficient soils.

Keywords: Foliar feeding, grain nutrition, micro nutrient.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 05 Nov 2025, Revised: 28 Jan 2026, Accepted: 23 Feb 2026, Published online: 28 Mar 2026

Cite this article: Rashnavadi, E., Zarea, M. J & Abbasi, N. (2026). Investigating the effect of foliar application of zinc and urea at different growth stages of wheat on the concentration of grain nutrient and the amount of sucrose and total carbohydrates during the grain filling stage. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 5(1), 24-41. DOI: [10.22126/cbb.2026.13812.1140](https://doi.org/10.22126/cbb.2026.13812.1140)



© The Author(s).



[10.22126/cbb.2026.13812.1140](https://doi.org/10.22126/cbb.2026.13812.1140)

Publisher: Razi University



بررسی تأثیر محلول پاشی روی و اوره در مراحل مختلف رشد گندم بر غلظت عناصر دانه و میزان ساکارز و کربوهیدرات های کل در مرحله پر شدن دانه

الهام رشنوادی^۱، محمدجواد زارع^۱✉ و نصرت اله عباسی^۱

^۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

^۲ بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سنندج، ایران.

✉ نویسنده مسئول. رایانامه: mj.zarea@ilam.ac.ir

چکیده

مقدمه: در مناطق خشک و نیمه خشک جهان کمبود روی قابل جذب در محلول خاک سبب پایین بودن غلظت این عنصر کم مصرف اما مهم در دانه های در حال رشد گندم می شود. این در حالی است که مردم کشورهای در حال توسعه به غلات به عنوان منبع اصلی غذای روزانه خود متکی هستند. بر همین اساس کمبود عنصر روی درصد قابل توجهی از مردم جهان را تحت تأثیر قرار می دهد. محلول پاشی با عنصر کم مصرف روی یکی از روش های معمول جهت افزایش غلظت روی دانه می باشد، اما اطلاعات در خصوص کاربرد توام آن با کود اوره و استفاده در مراحل مختلف نمو گندم بر میزان عناصر غذایی دانه از جمله عنصر روی کم می باشد. بر این اساس، هدف این مطالعه بررسی تأثیر محلول پاشی عنصر غذایی روی به صورت جداگانه یا همراه با کود اوره در مراحل مختلف نمو گندم بر افزایش محتوی عناصر غذایی و کل قندهای محلول دانه گندم بود.

مواد و روش ها: در مطالعه مزرعه ای محلول سه درصد (وزنی/حجمی) سولفات روی هپتاهیدرات (۳ کیلوگرم در هکتار)، به تنهایی یا همراه با سه درصد اوره (۳۰ کیلوگرم در هکتار) با حجم محلول پاشی ۱۰۰۰ لیتر در هکتار، به صورت برگ پاشی در سال زراعی ۱۴۰۵-۱۴۰۴ تحت کشت دیم انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. محلول پاشی در اوایل رشد طولی ساقه، غلاف رفتن، گرده افشانی و مرحله شیرینی شدن دانه انجام گرفت. سپس در زمان رسیدگی میزان عملکرد دانه و محتوای عناصر غذایی روی، آهن و منگنز در کاه و دانه گندم اندازه گیری شد. در آزمایش گلدانی نیز میزان کل قندهای محلول و ساکارز در دو مرحله زمانی ۱۴ و ۲۱ روز پس از گلدهی در پاسخ به تیمارهای محلول پاشی با عنصر غذایی کم مصرف روی و روی + اوره تحت شرایط دیم بررسی شد.

یافته ها: نتایج آزمایش نشان داد که زمان محلول پاشی تأثیری معنی دار بر عملکرد دانه، غلظت عناصر غذایی دانه و کاه داشت. محلول پاشی در مرحله بوتینگ با سولفات روی + اوره موجب بیشترین افزایش عملکرد دانه در مقایسه با تیمار کنترل شد. محلول پاشی در مرحله بوتینگ با ۳ کیلوگرم سولفات روی + ۳۰ کیلوگرم اوره در هکتار موجب بیشترین میزان افزایش عملکرد دانه در مقایسه با تیمار کنترل شد. بیشترین غلظت آهن دانه (۳۳ میلی گرم در کیلوگرم) از محلول پاشی روی + اوره در هنگام غلاف دهی حاصل شد. محلول پاشی روی + اوره در مرحله گلدهی بیشترین تأثیر را بر غلظت روی دانه (۲۵ میلی گرم در کیلوگرم) داشت و مقدار آن را در مقایسه با تیمار کنترل تا حدود ۱/۵ برابر افزایش داد. محلول پاشی برگی روی + اوره و صرف نظر از زمان کاربرد آن غلظت منگنز دانه را افزایش داد. کاربرد توام روی + اوره صرف نظر از زمان محلول پاشی آن تأثیری بیشتری بر محتوی منگنز دانه در مقایسه با کاربرد به تنهایی عنصر غذایی روی و تیمار شاهد داشت. محلول پاشی با تیمار روی + اوره در زمان گلدهی غلظت منگنز دانه را در مقایسه با تیمار شاهد ۲/۳ برابر افزایش داد. در مطالعه تکمیلی تحت شرایط گلدانی، نتایج نشان داد که کاربرد روی + اوره در مرحله گلدهی موجب افزایش غلظت ساکارز و کل قندهای محلول در دانه گردید.

نتیجه گیری: استفاده از کود اوره همراه با محلول پاشی سولفات روی تأثیر بیشتری بر افزایش میزان عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی دانه داشت. همچنین زمان محلول پاشی نیز بر محتوای عناصر دانه و عملکرد دانه تأثیری معنی دار بود. نتایج این آزمایش نشان داد که محلول پاشی با عنصر غذایی روی و کود اوره می تواند موجب افزایش محتوی ساکارز و قند کل دانه گندم شود.

واژه های کلیدی: عناصر ریز مغذی، ساکارز، تغذیه برگی، نمو، عملکرد دانه.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴ **اصلاح:** ۱۴۰۴/۱۱/۰۸ **پذیرش:** ۱۴۰۴/۱۲/۰۴ **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۵/۰۱/۰۸

استناد: رشنوادی، ا.، زارع، م. و عباسی، ن. (۱۴۰۵). بررسی تأثیر محلول پاشی روی و اوره در مراحل مختلف رشد گندم بر غلظت عناصر دانه و میزان ساکارز و

کربوهیدرات های کل در مرحله پر شدن دانه. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۵(۱)، ۴۱-۲۴. DOI: [10.22126/cbb.2026.13812.1140](https://doi.org/10.22126/cbb.2026.13812.1140)



مقدمه

محصولات اساسی مانند برنج، گندم و ذرت منبع اصلی کالری برای بخش بزرگی از جمعیت جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه و کم‌درآمد هستند. با این حال، این محصولات اغلب فاقد ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری کافی هستند. این امر می‌تواند به ویژه در کشورهای در حال توسعه که کمبود ریزمغذی‌ها رایج است، عواقب جدی برای سلامتی انسان داشته و اهمیت بیش‌تری داشته باشد. از طرف دیگر، بیش از یک میلیارد نفر در سراسر جهان به دلیل کمبود غذا با سوءتغذیه مواجه هستند و این امر باعث افزایش تقاضای جهانی برای مقدار بیشتر غذا شده است (Priyashantha *et al.*, 2025). بنابراین راهکارهایی که موجب افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی گردد حائز اهمیت است. تغذیه کودی گیاه با ریزمغذی‌ها می‌تواند تا حد زیادی به حل پایدارتر و اقتصادی‌تر این مشکل کمک کند. کاربرد خاکی، پرایمینگ و محلول‌پاشی سه روش متداول جهت کاربرد عناصر ریزمغذی و حتی پر مصرف در امر تولید گندم محسوب می‌شوند (Zarea & Karimi, 2023).

روی (Zn)، آهن (Fe) و منگنز (Mn) از مهمترین عناصر ریزمغذی هستند که نقش مهمی در سلامت جوامع انسانی دارند. جمعیت‌های کشورهایی که به محصولات گندم به عنوان منبع اصلی غذایی خود متکی هستند، در معرض خطر کمبود روی در رژیم غذایی روزانه خود هستند (Lowe *et al.*, 2024). تخمین زده می‌شود که ۱۷ درصد از جمعیت جهان در معرض خطر دریافت ناکافی روی

هستند و شیوع آن به ترتیب در آسیا و آفریقا به ۱۹٪ و ۲۴٪ می‌رسد (Wessells & Brown, 2012). کمبود روی می‌تواند منجر به مشکلات جدی سلامتی، به ویژه در کودکان شود. غلظت روی در دانه گندم کم است و به طور متوسط بین ۲۸ تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد که پایین‌تر از آستانه مورد نیاز (۴۰ تا ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) برای تغذیه جوامع انسان است (Ai Qing *et al.*, 2022). نتایج یک آزمایش نشان داد که میانگین غلظت روی (۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) و آهن (۳۲/۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) گندم ایران کم‌تر از غلظت‌های توصیه‌شده برای سلامت انسان می‌باشد (Sadat Hasheminasab *et al.*, 2024). علاوه بر این، کاربرد روی در گندم می‌تواند منجر به افزایش سطح کیفی نان گردد (Ahmadi *et al.*, 2019) که با توجه به اینکه نان جزو سبد غذایی بخش قابل توجهی از جمعیت کشور می‌باشد حائز اهمیت است. علاوه بر روی، سایر عناصر ریزمغذی‌ها مانند آهن و منگنز نیز مهم هستند و نقش حیاتی در سلامت انسان دارند. هر چند بیان گردیده است که افزایش بیش از اندازه غلظت روی و آهن در محصولات کشاورزی به یک چالش مهم جهانی برای بهبود سلامت انسان تبدیل شده است (Cakmak, 2008) اما کمبود عناصر ریزمغذی مانند آهن یک مشکل شایع، به ویژه در کشورهای در حال توسعه است و می‌تواند عواقب جدی برای سلامتی داشته باشد. غلظت آهن و روی در دانه گندم تولید شده در کشور ایران پایین گزارش شده است (Sadat Hasheminasab *et al.*, 2024) و بنابراین لزوم افزایش آن می‌تواند مهم

باشد. منگنز از عناصر مهم ضروری است که برای عملکردهای متابولیک مختلف در بدن انسان، از جمله رشد، عملکرد سیستم ایمنی، عملکرد هورمون‌های تولید مثل، عملکرد سیستم عصبی و متابولیسم انرژی بسیار مهم است (Avnee et al., 2023; Avila et al. 2013). هرچند میزان زیاد منگنز در محصولات کشاورزی و خطرات مرتبط با آن برای سلامت انسان که ناشی از مصرف بیش از حد غذاهای سرشار از منگنز است، توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Hui et al. 2024).

زمان کاربرد عنصر ریزمغذی روی در گندم بسته به نوع هدف می‌تواند متفاوت باشد. کاربرد دیر هنگام آن هرچند موجب افزایش میزان قابل توجه غلظت روی دانه می‌گردد، اما ممکن است تأثیر کم‌تری بر عملکرد دانه به خصوص اگر گیاه کمبود روی را در مراحل اولیه رشد نشان دهد، داشته باشد. به عبارتی زمان استفاده از کود باید با اوج نیاز گیاه باید هماهنگ باشد. در مطالعه‌ای تأثیر کاربرد سولفات روی به صورت خاک‌کاربرد بر گندم بررسی و گزارش گردید که تأخیر در استفاده از سولفات روی و اکسید روی تا ۴۵ روز پس از کاشت، تأثیر منفی بر گندم نداشت. اما تأخیر در استفاده از آن به مدت ۷۵ یا ۹۰ روز پس از کاشت تأثیری منفی بر گیاه داشت (Sharma et al. 1998). کاربرد روی در مراحل پر شدن

دانه در مقایسه با مراحل رویشی می‌تواند تأثیر بیشتری بر افزایش محتوی روی دانه داشته باشد. محلول‌پاشی روی (با یا بدون آفت‌کش‌ها) در مرحله شیر شدن دانه منجر به غلظت و زیست‌فراهمی بیشتر روی در کل دانه

نسبت به محلول‌پاشی روی در مرحله گلدهی شده است (Wang et al. 2019). زمان و غلظت محلول‌پاشی دو عامل مهمی هستند که بر غنی‌سازی زیستی روی در دانه گندم تأثیر می‌گذارند. زمان محلول‌پاشی یک عامل اصلی مؤثر بر میزان افزایش غلظت روی دانه در پاسخ به کوددهی روی شناخته شده‌اند (Hui et al. 2025).

عملکرد دانه گندم در اکثر مناطق کم‌باران کم، و متغیرتر از گندم آبی می‌باشد. هنگام هدف‌گذاری برای بهینه‌سازی عملکرد و پروتئین گندم کشت‌شده در شرایط دیم، کشاورزان باید نیتروژن کافی، نه بیش از حد، برای گیاه تأمین کنند. سیستم تولید دیم این امر را چالش‌برانگیزتر می‌کند. زیرا میزان بارندگی سالانه آن کم‌تر از نیاز آبی سالانه گیاه است. بنابراین تحت شرایط دیم ممکن است میزان کم‌تری نیتروژن به دلیل پتانسیل کم تولید ناشی از بارش ناچیز توسط کشاورزان استفاده گردد. محلول‌پاشی برگی نیتروژن یک استراتژی مؤثر برای بهبود محتوای پروتئین و کیفیت دانه‌های گندم است. محلول‌پاشی برگی کودها روشی مؤثر برای مقابله سریع با کمبود تغذیه‌ای محصول در مراحل بعدی رشد است (Lyu et al., 2022)، یعنی زمانی که در دسترس بودن عناصر مغذی خاک به دلیل پیری ریشه و شرایط آب و هوایی خشک کاهش می‌یابد (Lv et al., 2017).

علی‌رغم تأثیر قابل توجه محلول‌پاشی روی در افزایش روی دانه، زمان مصرف نیز می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر میزان افزایش غلظت روی دانه داشته باشد. زمان مصرف

ممکن است بر انتقال و انتقال مجدد روی از بافت‌های رویشی به دانه‌ها تأثیر گذار باشد. مطالعات بسیار کمی تأثیر زمان محلول‌پاشی روی بر میزان روی، آهن و منگنز دانه تحت شرایط دیم را مورد بررسی قرار داده‌اند. مطالعه حاضر با هدف بررسی این موضوع انجام شد که آیا زمان مصرف روی و ترکیب آن با محلول‌پاشی اوره می‌تواند بر محتوای روی، آهن و منگنز دانه گندم در شرایط دیم تأثیر بگذارد یا خیر؟ فرضیه‌های مطالعه حاضر بر این استوار بود که: (۱) زمان مصرف روی می‌تواند اثرهای متفاوتی بر محتوای مواد مغذی دانه داشته باشد و (۲) مصرف روی در صورت ترکیب با اوره، ممکن است هم محتوای عناصر مغذی دانه و هم عملکرد دانه را بیشتر بهبود بخشد.

مواد و روش‌ها

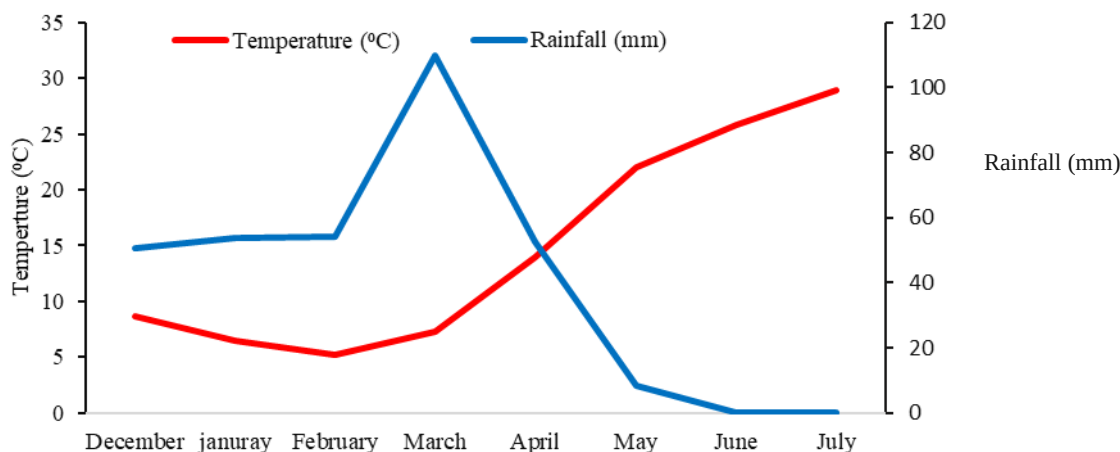
آزمایش مزرعه‌ای تحت شرایط دیم در طول فصل کشت گندم ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در مزرعه یکی از کشاورزان استان ایلام (با مختصات جغرافیایی $33^{\circ} 38' 6'' \text{N}$, $46^{\circ} 24' 26'' \text{E}$) بر گندم (رقم ریژا) و در شرایط کشت دیم انجام شد. قبل از کاشت بذر، نمونه‌های خاک برای تعیین خواص فیزیکوشیمیایی خاک گرفته شد. خاک مکان آزمایش دارای بافت لومی رسی با ۵۹٪ درصد کربن آلی، ۹۹٪ درصد ماده آلی، محتوای ۱/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و اسیدیته ۷/۲ بود. مجموع بارش در طول فصل رشد ۳۲۹ میلی‌متر بود. شکل یک متوسط دمای ماهانه را به همراه میانگین بارندگی ماهانه ثبت شده در طول آزمایش ارائه می‌دهد. بیشترین میزان بارش در فصل اسفند ماه

اتفاق افتاد. خاک‌ورزی مطابق روش پذیرفته شده کشاورزان منطقه شامل استفاده از گاوآهن برگردان دار پنج خیش و به دنبال آن دیسک برای خرد کردن کلوخه های خاک و یکنواخت کردن خاک بود. کنترل علف‌های هرز با استفاده از روش‌های شیمیایی انجام گرفت. به دلیل گسترش علف‌هرز جودره (*Hordeum spontaneum*) از سم سولفوسولفورون (اپیروس) به میزان ۲۶/۶ گرم در هکتار جهت کنترل این علف‌هرز استفاده گردید. همچنین به علت شیوع آفت سن از سم دلتا سیس (دلتا مترین ۲/۵ درصد) به میزان ۳۰۰ میلی‌لیتر در هکتار استفاده گردید. مطابق روش کشاورزان نیتروژن پایه به کار برده نشد. عملکرد پایین دانه، هزینه‌های بالای کود شیمیایی و بارندگی‌های کم در ابتدای فصل رشد باعث شده که کشاورزان محلی در برخی مناطق از کاربرد کود نیتروژن صرف نظر کنند. با این حال، در این مطالعه ۳۰ کیلوگرم اوره در هکتار به صورت محلول‌پاشی در مراحل مختلف رشد همراه با محلول‌پاشی سولفات روی ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) به عنوان منبع روی استفاده شد. ابعاد کرت‌ها یک در سه متر و فاصله بین هر کرت ۵۰ سانتی‌متر بود. برای این مطالعه از رقم گندم نان ریژا که برای مناطق نیمه‌خشک (شرایط دیم) معرفی شده است، استفاده شد. این رقم پتانسیل تولید ۳۶۱۷ کیلوگرم دانه در هکتار، ۳۵ گرم در هزار دانه و ۱۲/۵ درصد پروتئین در دانه می‌باشد. در شرایط تنش شدید خشکی، زمانی که میزان بارندگی در طول فصل رشد فقط ۱۶۹ میلی‌متر بوده، عملکرد این رقم ۱۳۲۲ کیلوگرم دانه در هکتار

کامل اجرا گردید.

گزارش شده است (Haghparast et al., 2013) این

آزمایش شامل سه تکرار بود و در طرح پایه بلوک های



شکل ۱- متوسط دمای ماهانه و میزان بارش ماهانه در طول آزمایش

Figure 1- The monthly rainfall and average monthly temperatures during experimental period

در مرحله ابتدای رشد طولی ساقه (Zadok's GS32)، مرحله بوتینگ (Zadok's GS41)، گرده افشانی (Zadok's GS62) و مرحله شیری (Zadok's GS73) انجام گردید. از Tween-20 (مرک، آلمان) به میزان ۰/۲ درصد (حجمی/حجمی) به عنوان سورفکتانت برای بهبود چسبندگی محلول ها به سطح برگ استفاده شد. محلول پاشی برگی تقریباً ساعت شش بعد از ظهر انجام شد.

در زمان برداشت از ردیف های مرکزی برای تهیه نمونه دانه برای اندازه گیری عناصر غذایی دانه و عملکرد دانه استفاده شد. برای محاسبه عملکرد دانه، مساحتی به ابعاد ۰/۵ × ۰/۵ متر از ردیف های داخلی هر کرت برداشت شد. تمام دانه های برداشت شده در هر کرت با هم ترکیب

تیمارها شامل محلول پاشی به تنهایی سولفات روی و یا محلول پاشی با سولفات روی + اوره بود. محلول پاشی در چهار مرحله نمودی گیاه انجام گرفت. و در هر مرحله فقط یکبار محلول پاشی با سولفات روی و یا سولفات روی + اوره انجام گرفت. از غلظت ۰/۳ درصد (وزنی/حجمی) سولفات روی و ۳ درصد (وزنی/حجمی) اوره (۴۶ درصد نیتروژن) جهت محلول پاشی استفاده گردید. حجم محلول پاشی ۱۰۰۰ لیتر در هکتار بود. بنابراین میزان سولفات روی و اوره استفاده شده به ترتیب ۳ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. در ترکیب سولفات روی + اوره، محلول حاوی سه گرم سولفات روی + ۳۰ گرم اوره در لیتر با حجم محلول پاشی ۱۰۰۰ لیتر در هکتار بود. محلول پاشی ها با سولفات روی و یا سولفات روی + اوره

شدند و پس از توزین با ترازوی دقیق به عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) تبدیل شدند. از دانه‌های برداشت شده جهت تعیین عناصر غذایی دانه استفاده شد. اندازه گیری عناصر روی، آهن و منگنز بر اساس روش هضم خشک تعیین گردید. نمونه‌های دانه و کاه از تمام تیمارها و از سه بلوک تهیه و پودر گردید. سپس نمونه‌ها داخل بوته چینی ریخته شدند و در کوره الکتریکی قرار داده شدند و به تدریج دما به ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت زمان پنج در همین دما (۵۵۰ درجه سانتی‌گراد) در کوره نگاهداشته شدند تا خاکستر شوند. سپس به هرکدام از نمونه ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریک دو مولار اضافه و درنهایت بوته‌ها در بن‌ماری در تماس با بخار آب به مدت نیم ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از آن محتویات بوته با کاغذ صافی به بالون ۵۰ سی‌سی صاف شد، مقداری آب‌مقطر به بوته‌ها افزوده تا به‌طور کامل شسته شود و درنهایت به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و با دستگاه جذب اتمی قرائت شد (Jones and Case, 1990). قرائت جذب با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل واریان AA240، استرالیا) در طول موج‌های زیر بود: روی، ۲۱۳/۹ نانومتر؛ آهن، ۲۴۸/۳ نانومتر؛ و منگنز، ۲۷۹/۵ نانومتر (Jones and Case, 1990).

با توجه به نتایج آزمایش مزرعه‌ای، آزمایشی گلدانی در محیط باز تحت شرایط طبیعی جهت تاثیر بررسی تاثیر محلول‌پاشی با روی و روی + اوره در اواسط مرحله گلدهی (Zadok's GS65) انجام گرفت. در ابتدا محل انجام

آزمایش به اندازه ارتفاع گلدان‌ها خاکبرداری گردید. سپس گلدان‌ها در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک و بر اساس طرح آزمایشی مورد استفاده چیدمان شدند. مجدد خاک برداشت شده به اطراف گلدان‌ها برگردانده شد به طوری که لبه گلدان‌ها با خاک همتراز گردید. ارتباط گلدان‌ها با خاک مزرعه از طریق ایجاد سوراخ‌های متعدد در ته گلدان‌ها میسر و بنابراین میزان نزولاتی که گلدان‌ها دریافت کردند حاصل از بارش در طول فصل رشد و جذب از خاک مزرعه بود. طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود که در محوطه گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام شد. در این آزمایش، میزان کل قندها و ساکارز دانه در زمان پر شدن دانه در دو مرحله زمانی دو (Zadok's GS70) و سه هفته پس از اتمام گلدهی (Zadok's GS80) اندازه‌گیری شدند. برای تخمین کمی میزان کل قند و ساکارز، نمونه‌های دانه ۱۴ و ۲۱ روز پس از اتمام گلدهی تهیه گردید. از نمونه‌های ۰/۱ گرم دانه پودر شده جهت تعیین میزان کل قندها استفاده گردید. استخراج قندها با اتانول ۸۰ درصد انجام گرفت (Cerning & Guilbot, 1973). میزان کل قندها (کل قندهای محلول در الکل) با روش آنترون و با استفاده از استاندارد گلوکوز محاسبه گردید (Yemm and Willis, 1954). جهت استخراج قندها پنج میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به ۰/۱ گرم از دانه پودر شده اضافه گردید. سپس نمونه‌ها به لوله‌های آزمایش درب دار منتقل و برای مدت ۳۰ ثانیه ورتکس گردیدند. پس از آن لوله‌های آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای

۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد (Du et al., 2020). سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. پس از سانتریفیوژ، مایع رویی جمع‌آوری و ذخیره شد. عمل استخراج دو بار دیگر تکرار گردید. پس از آن یک میلی‌لیتر از قند استخراج شده برداشته به لوله آزمایش منتقل و پنج میلی‌لیتر محلول آنترون ۰/۲ درصد به آن اضافه گردید. پس از آن لوله‌های آزمایش حاوی محلول استخراج شده و محلول شاهد به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شدند. پس از رسیدن دما لوله‌های آزمایش به دمای اتاق جذب نوری برای تعیین میزان قندها و ساکارز به ترتیب در طول موج ۶۳۰ و ۴۸۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید (Du et al., 2020). تعیین میزان ساکارز بر اساس روش گزارش شده با تعیین میزان کل قندهای محلول با استفاده از منحنی استاندارد D-گلوکز محاسبه شد. برای تهیه منحنی استاندارد از محلول پنج میلی‌گرم گلوکز در پنج میلی‌لیتر آب مقطر استفاده گردید. سپس غلظت‌های مختلف گلوکز با اضافه نمودن مقادیر صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میکرولیتر از محلول گلوکز به داخل لوله‌های آزمایش و رساندن حجم نهایی به دو میلی‌لیتر تهیه گردید. جهت تیمار شاهد لوله آزمایش فاقد گلوکز استفاده گردید. سه میلی‌لیتر آنترون ۰/۲ درصد به هر کدام از لوله‌های آزمایش اضافه گردید. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش حرارت داده شدند. دمای لوله‌های آزمایش به دمای اتاق رسانده و نمونه‌ها در طول موج ۶۳۰ نانومتر قرائت گردیدند. اندازه‌گیری غلظت ساکارز با

جهت تهیه نمودار استاندارد ساکارز از محلول یک میلی‌گرم آن در میلی‌لیتر آب مقطر استفاده گردید. تعیین میزان ساکارز با استفاده از منحنی استاندارد آن محاسبه گردید. محلول‌های پایه ساکارز با غلظت‌های صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میکروگرم تهیه شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از این غلظت‌های مختلف به لوله‌های آزمایش اضافه و حجم نهایی با آب مقطر به ۱۰۰ میکرولیتر رسانده شد. سه میلی‌لیتر آنترون به هر کدام از لوله‌های آزمایش اضافه و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش حرارت داده شدند. دمای لوله‌های آزمایش به دمای اتاق رسانده و جذب نور در طول موج ۴۸۰ نانومتر قرائت گردید. تیمار شاهد لوله آزمایش فاقد ساکارز بود.

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) انجام شد. از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال آماری پنج درصد جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

تحقیق انجام شده کاربرد به تنهایی سولفات روی (به عنوان منبع روی) و تلفیق آن با محلول پاشی اوره را در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه و غلظت عناصر روی، آهن و منگنز در دانه و کاه گندم تحت کشت دیم بررسی کرد. خلاصه نتایج آنالیز داده‌ها در جدول ۱ و مقایسه میانگین تاثیر تیمارها بر عملکرد دانه در جدول ۲ نشان داده شده است. آزمایش بیانگر سودمندی محلول پاشی روی + اوره در زمان گلدهی بر افزایش عملکرد دانه بود.

در زمان گلدهی ساقه های فرعی (پنجه) گندم شکل گرفته و اوره و روی استفاده شده نمی تواند صرف رشد پنجه گردد. بنابراین می تواند روی اجزاء عملکرد مانند تعداد نهایی دانه تشکیل شده، اندازه دانه و پر شدن دانه تاثیر گذار باشد. گزارش شده که محلول پاشی برگی اوره در اواخر فصل رشد می تواند عملکرد و کیفیت دانه گندم را افزایش دهد. محلول پاشی برگی اوره (۶۷ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) عملکرد دانه گندم را از طریق افزایش وزن هزار دانه افزایش داد (Varga & Svečnjak, 2006). در مطالعه ای دیگر افزایش عملکرد دانه در اثر محلول پاشی برگی با اوره پس از گلدهی را عمدتاً به دلیل افزایش وزن دانه ناشی از افزایش میزان پر شدن دانه و سنتز نشاسته نسبت داده اند (Ren et al., 2025). همچنین و بر اساس سایر مطالعات انجام شده محلول پاشی با اوره پس از مرحله گلدهی با افزایش میزان فتوسنتز موجب انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به سمت دانه ها و در نتیجه افزایش میزان پر شدن دانه می گردد (Ren et al., 2025). علاوه بر این، گزارش شده است که محلول پاشی اوره به صورت برگی، تحمل به خشکی را در گندم بهبود می بخشد و پر شدن دانه را به طور قابل توجهی تسریع می کند (Lv et al., 2021; Alihoseinia & Zarea, 2025).

خلاصه نتایج آنالیز تاثیر تیمارهای بر میزان غلظت آهن، منگنز و روی دانه و کاه در جدول ۱ نشان داده شده است. بالاترین محتوای روی دانه (۳۳ میلی گرم در کیلوگرم) از محلول پاشی روی + اوره در مرحله گلدهی حاصل گردید

و کمترین میزان آهن دانه مربوط به تیمار شاهد به میزان ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم بود. با بررسی نتایج مقایسه میانگین تیمارها کاربرد روی + اوره نسبت به کاربرد روی به تنهایی و صرف نظر از مراحل محلول پاشی موجب افزایش بیش تر محتوای آهن دانه گردید (شکل ۲). بیشترین محتوای آهن کاه گندم از اعمال محلول پاشی روی + اوره در زمان غلاف دهی حاصل گردید (شکل ۲). استفاده از اوره در مرحله ساقه رفتن و غلاف دهی منجر به افزایش غلظت آهن در کاه گندم در مقایسه با کاربرد به تنهایی روی گردید (شکل ۱). در حالیکه کاربرد روی و اوره در زمان گلدهی منجر به تغییر معنی دار در محتوای آهن دانه در مقایسه با تیمار کاربرد به تنهای روی نگردید (شکل ۲). محلول پاشی روی + اوره میزان غلظت منگنز دانه را صرف نظر از زمان کاربرد آن به صورت معنی داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۳). به عبارت دیگر محلول پاشی روی به تنهایی و یا به همراه اوره موجب افزایش غلظت منگنز دانه گردید. بیشترین غلظت منگنز (۲۵ میلی گرم در کیلوگرم) در کاه گندم از تیمار محلول پاشی روی + اوره در مرحله غلاف دهی حاصل گردید (شکل ۳). محلول پاشی برگی با روی + اوره در زمان گلدهی بیشترین تاثیر را در افزایش روی دانه داشت (شکل ۴). با توجه به نتایج کلی به دست آمده استفاده از اوره به همراه روی نقش مثبتی در افزایش میزان آهن، منگنز و روی دانه داشت. همچنین محلول پاشی در زمان گلدهی تاثیر بیشتری در افزایش غلظت عناصر داخل دانه داشت. افزایش میزان روی دانه با

تیمار محلول پاشی اوره + روی حاصل گردید. محلول پاشی به تنهایی روی نیز نسبت به تیمار شاهد منجر به افزایش میزان کربوهیدرات‌ها و نشاسته دانه پس از ۱۴ روز از اتمام گلدهی (۲۳ درصد) گردید. همچنین روند مشابهی از افزایش میزان قند کل و نشاسته در ۲۱ روز پس از اتمام گلدهی مشاهده شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان قند کل و نشاسته دانه (۳/۶ میلی‌گرم در دانه) از تیمار محلول پاشی روی + اوره حاصل گردید (جدول ۳). محلول پاشی با روی به تنهایی نیز دارای اختلاف معنی دار با تیمار شاهد بود به طوریکه موجب افزایش میزان کربوهیدرات‌ها و نشاسته به میزان ۳۷ درصد در دانه گردید (جدول ۴). بر اساس نتایج این آزمایش افزایش محتوای روی و نیتروژن گیاه در مرحله گلدهی تأثیر مثبت بر افزایش میزان قند کل و نشاسته دانه داشت. در آزمایش مزرعه ای انجام گرفته در این تحقیق و نیز بر اساس مطالعات سایر پژوهشگران محلول پاشی با اوره و روی موجب افزایش وزن دانه گندم گردیده است. بر این اساس می توان چنین فرض کرد که افزایش عملکرد دانه می‌تواند نتیجه افزایش تجمع بیش‌تر نشاسته در دانه در طول مرحله پر شدن دانه باشد. نشاسته یکی از مهم‌ترین اجزا تشکیل دهنده دانه گندم می‌باشد (Lineback and Rasper, 1988) که می‌تواند به عنوان یک فاکتور مهم در عملکرد دانه گندم محسوب گردد و تحت تنش خشکی می‌تواند مقدار آن کاهش پیدا کند (Safar-Noori et al., 2018). میزان تجمع نشاسته می‌تواند حداقل تحت تأثیر دو عامل مهم انتقال کافی ساکارز به

محلول پاشی برگی آن در بسیاری از مطالعات مورد تایید قرار گرفته است (Li-na et al., 2022; Zarea, 2023; Zarea, 2025a, b). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که غنی‌سازی زیستی مؤثر دانه گندم با روی تا حد زیادی به تأمین کافی نیتروژن وابسته است (Gonzalez et al. 2019). اوره (نیتروژن) تحرک روی را در آوند آبکش افزایش می‌دهد و انتقال آن به دانه را تسهیل می‌کند و بنابراین میزان غلظت روی دانه را افزایش می‌دهد (Gupta et al. 2016). در مطالعه ای دیگر کاربرد روی عناصر مغذی دانه گندم را در شرایط کنترل شده و/یا تنش آبی بهبود بخشید (Ghanem et al., 2025). کاربرد روی + اوره موجب افزایش میزان آهن دانه گردید. اعتقاد بر این است تحرک آهن در آوند آبکش ضعیف است (Cakmak et al. 2008). قبلاً گزارش گردیده است که اوره تحرک روی در آوند آبکش را افزایش داده است (Gupta et al. 2016)، بنابراین به نظر می‌رسد که اوره توانسته انتقال آهن به دانه را افزایش دهد.

خلاصه نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش گلدانی در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان قند کل و میزان نشاسته در دو زمان مختلف ۱۴ و ۲۸ روز پس از اتمام مرحله گلدهی انجام گرفت. کاربرد سه مرتبه محلول پاشی در مرحله گلدهی گندم با روی و روی + اوره دارای تأثیر معنی داری بر میزان قند کل و نشاسته دانه در مقایسه با تیمار کنترل داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج آزمون مقایسه میانگین داده‌ها بیش‌ترین میزان کربوهیدرات‌ها در دانه پس از گذشت ۱۴ (۲/۸ میلی‌گرم در دانه) روز از

دانه و نیز فعالیت آنزیم درگیر در سنتز نشاسته از ساکارز در آندوسپرم باشد. تداوم انتقال ساکارز از منبع (برگ و ساقه) به دانه‌های در حال توسعه و نیز تداوم فعالیت سنتز نشاسته از ساکارز می‌تواند در میزان نشاسته دانه گندم نقش مهمی داشته باشد (Jenner and Rathjen, 1975). بهبود میزان فتوسنتز در طول دوره پر شدن دانه و انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه در حال پر شدن می‌تواند تحت تاثیر وضعیت نیتروژن گیاه و روی قرار گیرد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی با روی و اوره در مراحل مختلف رشد گندم

Table 1- Analysis of variance for the effect of foliar spraying with zinc and urea at different stages of wheat growth

کاه			دانه			عملکرد دانه	درجه	منابع تغییرات
Straw			Grain			Grain yield	آزادی	S.O.V.
							df	
روی	منگنز	آهن	روی	منگنز	آهن			
Zn	Mn	Fe	Zn	Mn	Fe			
0.32 ^{ns}	0.63 ^{ns}	8.47 ^{ns}	4.32 ^{ns}	0.51 ^{ns}	11.1 ^{ns}	13711 ^{ns}	2	بلوک
								Block
12.5 ^{**}	13.7 ^{**}	343 ^{**}	42.4 ^{**}	21.6 ^{**}	55.5 ^{**}	344279 ^{**}	8	محلول پاشی
								Foliar application
4.7	1.57	41.18	4.32	1.41	11.6	64338	16	خطا
								Error
10.9	5.78	7.61	13.1	11.6	12.7	14.3		(%) CV

^{**} و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

^{**} and ^{ns}, indicate significant difference at 1% probability level and no significant difference, respectively.

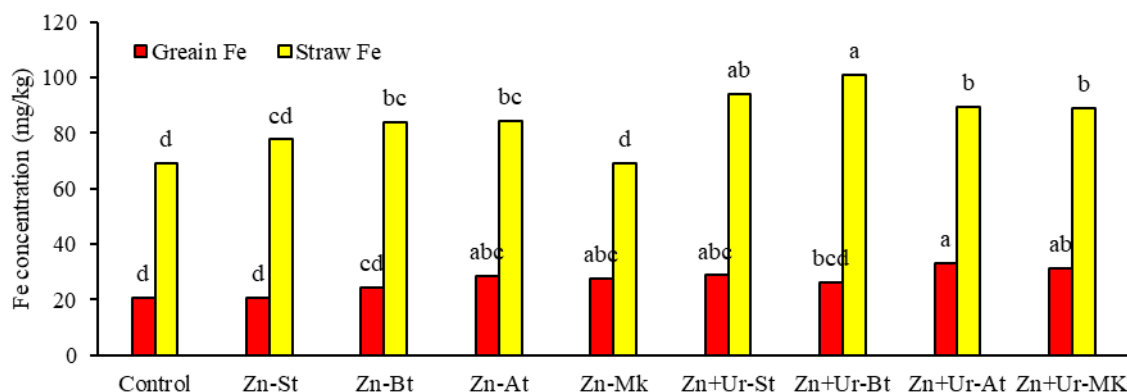
جدول ۲- تأثیر تیمارهای محلول پاشی با روی و اوره در مراحل مختلف رشد گندم بر عملکرد دانه گندم

Table 2- Impact of foliar application of zinc sulfate (Zn), urea (Ur), and their combination (Zn + Ur) at different wheat growth stage on grain yield.

عملکرد دانه (تن در هکتار)	تیمار
1.25 d	کنترل
	control
1.68cd	سولفات روی (رشد طولی ساقه)
	ZnSO ₄ .7H ₂ O (Stem elongation)
2.11ab	سولفات روی + اوره (رشد طولی ساقه)
	ZnSO ₄ .7H ₂ O + urea (Stem elongation)
1.68bcd	سولفات روی (بوئینگ)
	ZnSO ₄ .7H ₂ O (Booting)
2.13a	سولفات روی + اوره (بوئینگ)
	ZnSO ₄ .7H ₂ O + urea (Booting)
1.84abc	سولفات روی (گلدهی)
	ZnSO ₄ .7H ₂ O (Flowering)
2.14a	سولفات روی + اوره (گلدهی)
	ZnSO ₄ .7H ₂ O + urea (Flowering)
1.27d	سولفات روی (مرحله شیری)
	ZnSO ₄ .7H ₂ O (milk development)
2.06abc	سولفات روی + اوره (مرحله شیری)
	ZnSO ₄ .7H ₂ O + urea (milk development)

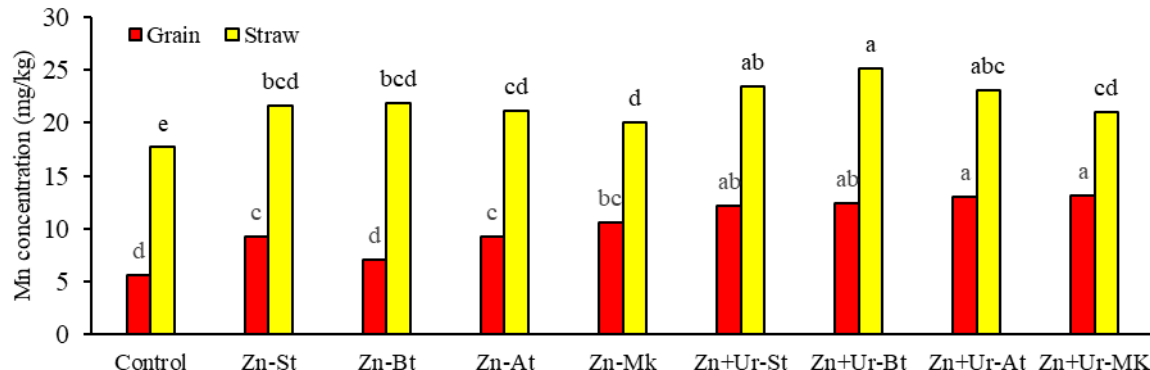
میانگین‌هایی که حرف مشابهی دارند براساس روش مقایسه میانگین حداقل تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means sharing the same letter do not differ significantly from one another at the 5% probability level, based on least significant difference (LSD) mean comparison test.



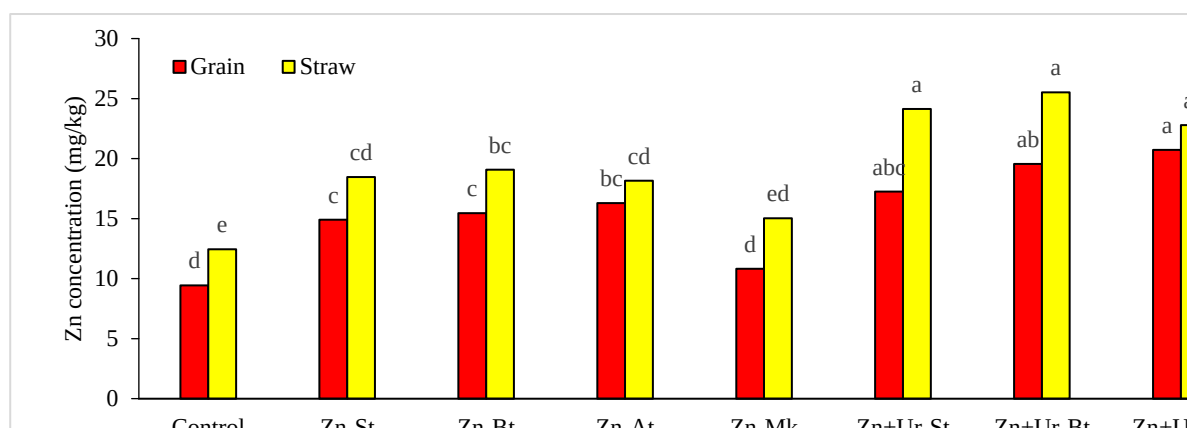
شکل ۱- تاثیر محلول پاشی با روی و روی + اوره در مراحل مختلف نمو بر غلظت آهن دانه و کاه گندم. میانگین‌هایی که حرف مشابهی دارند براساس روش مقایسه میانگین حداقل تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی داری با یکدیگر ندارند.

Figure 1- Effect of foliar spraying of zinc and zinc + urea at different growth stages on iron (Fe) concentrations of wheat grain and straw. Means sharing the same letter do not differ significantly from one another at the 5% probability level, based on the least significant difference (LSD) mean comparison test.



شکل ۲- تاثیر محلول پاشی با روی و روی + اوره در مراحل مختلف نمو بر غلظت منگنز دانه و کاه گندم. میانگین‌هایی که حرف مشابهی دارند براساس روش مقایسه میانگین حداقل تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی داری با یکدیگر ندارند.

Figure 2- Effect of foliar spraying of zinc and zinc + urea at different growth stages on manganese (Mn) concentration of wheat grain and straw. Means sharing the same letter do not differ significantly from one another at the 5% probability level, based on the least significant



شکل ۳- تأثیر محلول پاشی با روی و روی + اوره در مراحل مختلف نمو بر غلظت روی دانه و کاه گندم. میانگین‌هایی که حرف مشابهی دارند براساس روش مقایسه میانگین حداقل تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی داری با یکدیگر ندارند.

Figure 3- Effect of foliar spraying of zinc and zinc + urea at different growth stages on zinc (Zn) concentration of wheat grain and straw. Means sharing the same letter do not differ significantly from one another at the 5% probability level, based on the least significant

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی با روی و روی + اوره بر میزان قند کل و ساکارز دانه ۱۴ و ۲۱ روز پس از گرده افشانی گندم

Table 3- Analysis of variance for the effect of foliar spraying of zinc and zinc plus urea on total soluble sugars and sucrose levels 14 and 21 days after anthesis in wheat.

منابع تغییرات		درجه		کل قندهای محلول		ساکارز دانه	
SOV		آزادی		Total soluble sugar		Sucrose	
df		۱۴ روز پس از گلدهی		۲۱ روز پس از گلدهی		۱۴ روز پس از گلدهی	
		(14 days after anthesis)		(21 days after anthesis)		(21 days after anthesis)	
2		0.026 ^{ns}		0.0057 ^{ns}		0.011 ^{ns}	
2		0.822 ^{**}		0.757 ^{**}		1.41 ^{**}	
8		0.008		0.027		0.073	
Error							
CV (%)		3.95		9.54		9.24	
		3.17					

** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

** and ns, indicate significant difference at 1% probability level and no significant difference, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول‌پاشی روی و روی + اوره بر غلظت قند کل و ساکارز دانه (میلی گرم در دانه)، ۱۴ و ۲۱ روز پس از گرده‌افشانی گندم

Table 4- Mean comparison of analysis of variance for the effect of foliar spraying of zinc and zinc plus urea on total sugars and sucrose (mg/grain) levels 14 and 21 days after anthesis in wheat.

غلظت کل قندهای دانه	غلظت کل قندهای دانه	غلظت ساکارز دانه (۲۱ روز پس از گلدهی)	غلظت ساکارز دانه (۱۴ روز پس از گلدهی)	محلول پاشی برگ
Total sugars content (21 days after anthesis)	Total sugars content (14 days after anthesis)	Grain sucrose content (21 days after anthesis)	Grain sucrose content (14 days after anthesis)	Foliar application
3.51 a	3.63 a	2.24 a	2.82 a	روی + اوره Zn+Ur
2.82 b	2.88 b	1.69 b	2.19 b	روی Zn
2.12 c	2.26 c	1.23 c	1.78 c	کنترل Control

میانگین‌هایی که حرف مشابهی دارند براساس روش مقایسه میانگین حداقل تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means sharing the same letter do not differ significantly from one another at the 5% probability level, based on the least significant difference (LSD) mean comparison test.

نتیجه گیری کلی

در هکتار موجب افزایش عناصر ریزمغذی آهن، منگنز و

روی در دانه گردید. نتایج تکمیلی این مطالعه نشان داد که میزان بیش‌تر کل قندهای و ساکارز در دانه‌های محلول‌پاشی شده با روی و اوره می‌تواند به نقش تغذیه‌ای این گیاه در بهبود انتقال مواد ذخیره شده یا مواد ساخته شده فتوسنتزی به سمت دانه باشد که در افزایش عملکرد دانه تحت شرایط دیم می‌تواند مفید باشد.

در این مطالعه پاسخ گندم رقم ریژاو به محلول‌پاشی با روی و روی + اوره در مراحل مختلف رشد نشان داد که محتوای عناصر دانه گندم می‌تواند تحت تاثیر زمان کاربرد کود قرار گیرد. محلول‌پاشی در مرحله گلدهی موجب افزایش سطح سه عنصر روی، آهن و منگنز در دانه گردید. کاربرد روی در تلفیق با کاربرد اوره به میزان ۳۰ کیلوگرم

References

- Ahmadi, M., Zare, M. J., & Emam, Y. 2019. Study of quantitative and qualitative traits of bread wheat by using of Cycocel, Zinc sulfate and bio-fertilizer application under dry land farming. *Plant Ecophysiology*, 11, 148-161. [(In Persian with English Abstract)].
- Aiqing, Z., Zhang, L., Ning, P., Chen, Q., Wang, B., Zhang, F., Yang, X., & Zhang, Y. 2022. Zinc in cereal grains: Concentration, distribution, speciation, bioavailability, and barriers to transport from roots to grains in wheat. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62, 7917-7928. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1920883>
- Avnee, S, Chaudhary, D. R., Jhorar, P., & Rana, R. S. 2023. Biofortification: an approach to eradicate micronutrient deficiency. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1233070. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1233070>
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Cerning, J., & Guilbot, A. 1973. Changes in the carbohydrate composition during development and maturation of the wheat and barley kernel. *Cereal Chemistry*, 50, 220-232.
- Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., Zhang, W., Zhang, B., & Xie, F. 2020. Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 146, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.11.003>
- Ghanem, H. E., Hamza, D. A., Zain El-Abdeen, A. A., Elbatrawy, W. S., & El-Habashy, H. M. 2025. Influence of zinc foliar spray on growth, some important physiological processes, yield and yield attributes of bread wheat under water stress. *Scientific Reports*, 15, 14943. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94728-1>
- Gonzalez, D., Almendros, P., Obrador, A., & Alvarez, J. M. 2019. Zinc application in conjunction with urea as a fertilization strategy for improving both nitrogen use efficiency and the zinc biofortification of barley. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 4445-4451. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9681>
- Gupta, N., Ram, H., & Kumar, B. 2016. Mechanism of zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology*, 15, 89-109. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9390-1>

- Haghparast, R., Rajabi, R., Roustaii, M., & Aghaee Sarbarzeh, M. 2013. Rijaw, A new bread wheat cultivar for rainfed and supplemental irrigation in moderate cold regions of Iran. *Seed and Plant Journal*, 29, 401-403. <https://doi.org/10.22092/spij.2017.111166>
- Hodge, J. E., Hofreiter, B. T., Whistler, R. L., & Be-Miller, J. N. 1962. *Methods in carbohydrate chemistry*. New York Academic Press.
- Hui, X., Luo, L., Chen, Y. 2025. Zinc agronomic biofortification in wheat and its drivers: a global meta-analysis. *Nature Communications*, 16, 3913. [https://doi.org/10.1038/s41467-](https://doi.org/10.1038/s41467-025-58397-)
- Hui, X., Luo, L., Chen, Y., & Wang Z. 2024. Assessment of manganese accumulation in dryland wheat grains via plastic film mulching: Implications for human health risk in multi-site studies. *Science of The Total Environment*, 955, 176990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176990>
- Jenner, C. F., & Rathjen, A. J. 1975. Factors regulating the accumulation of starch in ripening wheat grain. *Australian Journal of Plant Physiology*, 2, 11-322.
- Jones Jr, J.B., & Case, V. W. 1990. *Sampling, handling and analyzing plant tissue samples*. (3th ed.). SSSA, Madison WI.
- Li-na, J., Jing-li, A. M., Xiao-jie, W., Gang-gang, L., Zhao-long, Q. I., Chen-yang, Z., Ling-fang, Z., Chun-xi, L., Zhi-min, W., & Bao-zhen, H. 2022. Grain zinc and iron concentrations of Chinese wheat landraces and cultivars and their responses to foliar micronutrient applications. *Journal of Integrative Agriculture*, 21, 532-541
- Lineback, D. R., & Rasper, V. F. 1988. *Wheat carbohydrates, in wheat chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemists.
- Lowe, N. M.; Hall, A. G., Broadley, M. R., Foley, J., Boy, E., & Bhutta, Z. A. 2024. Preventing and controlling zinc deficiency across the life course: A call to action. *Advances in Nutrition*, 15, 100181. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100181>
- Lv, X., Han, J., Liao, Y., & Liu, Y. 2017. Effect of phosphorus and potassium foliage application post-anthesis on grain filling and hormonal changes of wheat. *Field Crops Research*, 214, 83-93 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.001>
- Lyu, X., Liu, Y., Li, N., Ku, L., Hou, Y., & Wen, X. 2022. Foliar applications of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization *The Crop Journal*, 10, 1165-1177. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.10.009>
- Priyashantha, H., Kurukulasuriya, M. S., Ranadheera, C. S. Jayarathna, S., & Vidanarachchi J. K. 2025. Biofortification as a sustainable solution to combat micronutrient malnutrition in the global south with a focus on Sri Lanka: potential, challenges, and policy implications. *Discover Food*, 5, 126. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00381-y>
- Ren, J., Li, H., Yao, C., Zhang, Z., Wang, Z., Zhao, Z., Sun, Z., Zhang, X., & Zhang, Y. 2025. Coordinating yield and quality formation of wheat through post-anthesis nitrogen spraying. *Crop and Environment*, 4, 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2024.12.004>
- Sadat Hasheminasa, K., Shahbazi, K., Marzi, M, Zare, A., Yeganeh, M., Bazargan, K., & Kharazmi, R. 2023. A study on wheat grain zinc, iron, copper, and manganese concentrations and their relationship with grain yield in major wheat production areas of Iran. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100913
- Sharma, B. D., Singh, Y., & Singh, B. 1988. Effect of time of application on the effectiveness of zinc sulphate and zinc oxide as sources of zinc for wheat. *Fertilizer Research*, 17, 147-151. <https://doi.org/10.1007/BF01050275>

- Varga, B., & Svečnjak Z. 2006. The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. *Field Crops Research*, 96, 125-132. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.06.001>
- Wang, S., Zhang, X., Liu, K., Fei, P., Chen, J., Li, X., Ning, P., Chen, Y., Shi, J., & Tian, X. 2019. Improving zinc concentration and bioavailability of wheat grain through combined foliar applications of zinc and pesticides. *Agronomy Journal*, 111, 1478-1487. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.09.0597>
- Wessells, K. R., & Brown K. H. 2012. Estimating the global prevalence of zinc deficiency: results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting. *PLOS ONE*, 7, e50568. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050568>
- Yang, X. W., X. H. Tian, X. C. Lu, Y. X. Cao, & Chen, A. H. 2011. Impacts of phosphorus and zinc levels on phosphorus and zinc nutrition and phytic acid concentration in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 2322-2328. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4459>
- Yemm, E. W., & Willis, A. U. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, 57, 508-514.
- Zarea, M. J. 2023. Effect of foliar application of Zinc and exogenous application of proline on yield and grain Zn and P content in a wheat durum cultivar Saji under drought stress condition. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 2, 269-287. <https://doi.org/10.22126/cbb.2024.9987.1061>
- Zarea, M. J. 2025a. Effect of foliar application of *Azospirillum brasilense* and zinc sulfate on the grain-filling process of rainfed wheat. *Iran Agricultural Research*, 43, 1-9. <https://doi.org/10.22099/iar.2024.50169.1595>
- Zarea, M. J. 2025b. Foliar application of *Azospirillum brasilense*, salicylic acid and zinc on wheat performance under rain-fed condition. *Cereal research communications*, 53, 1073-1090. <https://doi.org/10.1007/s42976-024-00570-y>
- Zarea, M.J., & Karimi, N. 2023. Zinc-regulated *P5CS* and sucrose transporters *SUT1B* expression to enhance drought stress tolerance in wheat. *The Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 5831-5841. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-10968-3>