Plant Prod., 2025, 47(4), 561-579
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2024.47290.2183
Received: 5 July 2024
Accepted: 23 October 2024

Plant Productions

Research Article

Effect of bulk and nanoparticle chelates of iron, zinc, and boron on chickpea (*Cicer arietinum* L.) in dryland farming: Enhancing grain yield

Davood Rahimi Monfared[1], Mohsen Saeidi [2*], Saeid Jalali Honarmand [3]

1. M.Sc. Graduate of Agronomy, Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agricultural Science and
3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetic, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

Citation: Rahimi Monfared, D., Saeidi, M., Jalali Honarmand, S. (2025). Effect of bulk and nanoparticle chelates of iron, zinc, and boron on chickpea (*Cicer arietinum* L.) in dryland farming: Enhancing grain yield. *Plant Productions*, 47(4), 561-579 .

Abstract

Introduction

Legumes are a vital source of plant-based food, second only to cereals. Among them, Chickpea (*Cicer arietinum* L.) holds significant importance, particularly in semi-arid regions such as western Iran, where it is primarily cultivated under rainfed conditions. Chickpea is a valuable dietary component, particularly for low-income populations, as it is rich in protein (18-22%), unsaturated fatty acids (e.g. linoleic acid and oleic acid), and a good source of vitamins, such as riboflavin, niacin, thiamin, and folate (vitamin B9), and beta-carotene (a precursor of vitamin A) and minerals including calcium, magnesium, phosphorus, and potassium. In terms of total grain production in rainfed environments, chickpea ranks as the third most cultivated crop in Iran. Kermanshah province, with approximately 141,000 hectares dedicated to chickpea farming, leads in cultivation area. Despite this, the average yield of rainfed chickpea fields in Iran (480 kg/ha) lags significantly behind the global average (1,057 kg/ha). This disparity is primarily attributed to limited soil moisture and a lack of bioavailable nutrients. This study investigates the potential of iron, zinc, and boron chelates applied in both bulk and nanoparticle forms – to enhance chickpea grain yield and address nutritional deficiencies under rainfed conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted during the 2018-2019 growing season at the Agriculture and Natural Resources Campus of Razi University under rainfed conditions. A randomized complete block design with three replications was implemented. Fertilizer treatments were applied as foliar sprays in two growth stages: the beginning of vegetative growth and flowering. Treatments

* **Corresponding Author:** Mohsen Saeidi
E-mail: msaeidi@razi.ac.ir

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

included bulk and nanoparticle chelates of iron, zinc, and boron at three concentrations (2, 4, and 8 g/l), their combinations and a control.

Results and Discussion

Soil analysis revealed deficiencies in bioavailable iron, zinc, and boron. The analysis of variance showed that both the type and concentration of fertilizers significantly affected grain yield and its components. All treatments, except boron fertilizer, caused a significant increase in grain yield compared to the control. The highest yield (814 $^{kg/ha}$) was observed with the combined application of iron+zinc+boron at 8 g/l, resulting in 1,392 kg/ha grain yield and 3,287 kg/ha biomass. Other notable results included combinations of iron + zinc + boron (1,196 kg/ha), iron + zinc (1,108 kg / ha), and bulk zinc alone (1,053 kg/ha). Increasing fertilizer concentration positively influenced plant height, the number of pods per plant, grains per pod, total grains per plant, and 100-grain weight. Among all treatments, the concentration of 8 g/l consistently yielded the most significant improvements. While nanoparticle fertilizers performed well, bulk forms of iron and zinc proved equally, if not more, effective in enhancing grain yield. However, bulk fertilizers were superior in increasing plant height.

Conclusion

The study concludes that while both bulk and nanoparticle fertilizers of iron and zinc improve chickpea yield under rainfed conditions, nanoparticle fertilizers did not demonstrate a clear advantage over bulk forms. However, regarding plant height increase, bulk iron and zinc fertilizers were particularly effective. Considering reports of the higher efficiency of nanoparticles in irrigated environments, further research is necessary to determine conditions where nanoparticles may outperform bulk fertilizers in rainfed systems.

Keywords: Foliar application, Harvest index, Plant height, Pod, Teepol

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۳، ٤۷(٤)، ٥٦۱ -٥۷۹
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2024.47290.2183
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

اثر کلات‌های بالک و نانوذره آهن، روی و بور بر نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت دیم: افزایش عملکرد دانه

داود رحیمی‌منفرد [۱]، محسن سعیدی [۲*]، سعید جلالی‌هنرمند [۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

چکیده

نخود از مهم‌ترین گیاهان خانواده حبوبات است و در مناطق نیمه خشک مانند اکثر مناطق غربی ایران به صورت دیم کشت می‌شود. کمبود رطوبت و فرم قابل جذب عناصر غذایی کم‌مصرف در محلول خاک از دلایل مهم پایین بودن عملکرد نخود در مزارع دیم ایران (٤۸۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به متوسط جهانی آن (۱۰۵۷ کیلوگرم در هکتار) است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بهبود عملکرد دانه نخود از طریق بهبود تغذیه با کاربرد کلات‌های آهن، روی و بور به صورت بالک و نانوذره در شرایط کشت دیم در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. سطوح مختلف تیمار کودی در دو نوبت در ابتدای رشد رویشی (نه برگی یا ابتدای ساقه‌روی) و گلدهی به صورت محلول‌پاشی کلات‌های بالک و نانوذره آهن، روی و بور در سه غلظت دو، چهار و هشت گرم در لیتر و فرم‌های ترکیبی آن‌ها روی رقم سعید اعمال شد. براساس نتایج آزمون خاک، کمبود فرم قابل جذب آهن، روی و بور در محلول خاک وجود داشت. نتایج نشان دادند که اثر نوع و غلظت کود بر عملکرد دانه و اجزاء آن معنی‌دار بود. سایر انواع کودها به غیر از کود بور سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند. بیش‌ترین عملکرد دانه (٨١٤ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد در تیمار ترکیب کودی نانوذره آهن + روی + بور و آهن + روی و بالک روی به ترتیب با ۱۱۹٦، ۱۱۰۸ و ۱۰۵۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با افزایش غلظت کودها، عملکرد دانه و زیست‌توده، وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و ارتفاع بوته به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافتند. غلظت هشت گرم در لیتر تیمارهای کودی بیش‌ترین اثر مثبت و معنی‌دار را بر عملکرد دانه و اجزاء آن داشت. در این ارتباط بیش‌ترین عملکرد دانه و زیست‌توده به ترتیب با ۱۳۹۲ و ۳۲۸۷ کیلوگرم در هکتار به غلظت هشت گرم در لیتر تیمار کودی نانوذره آهن

نویسنده مسئول: محسن سعیدی
رایانامه: msaeidi@razi.ac.ir

+ روی + بور اختصاص داشت. کودهای نانوذره آهن و روی نسبت به فرم بالک آن‌ها از نظر افزایش عملکرد دانه برتری نداشتند. اما از نظر افزایش ارتفاع بوته کودهای آهن و روی بالک نسبت به کودهای آهن و روی نانوذره برتری داشتند. با توجه به نتایج این تحقیق، کودهای نانوذره آهن و روی در مقایسه با فرم بالک آن‌ها مخصوصاً در شرایط دیم نخود برتری معنی‌دار نداشتند. با توجه به گزارش‌های مختلف مبنی بر کارایی بیش‌تر کودهای نانوذره نسبت به فرم بالک آن‌ها در شرایط کشت آبی، به نظر می‌رسد که در شرایط کشت دیم در مورد میزان کارایی کودهای نانوذره در مقایسه با فرم بالک آن‌ها بایستی تحقیقات بیش‌تری صورت گیرد.

کلید واژه ها: ارتفاع بوته، تیپول، شاخص برداشت، محلول‌پاشی، نیام

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) سومین گیاه زراعی مهم خانواده حبوبات با پتانسیل عملکرد دانه تخمینی شش تن در هکتار است (Thudi *et al*., 2016; F.A.O., 2023). درصد پروتئین دانه نخود ۲۰ تا ۲۵ می‌باشد. بنابراین درصد پروتئین دانه آن برابر یا بیش‌تر از گوشت است (Boukid, 2021). طبق اطلاعات آمارنامه کشاورزی (Anonymous, 2024) در سال زراعی ۴۰۱-۱۴۰۰، از ۴۱۶۸۳۳ هکتار کل سطح برداشت شده نخود، ۴۱۰۸۶۰ هکتار (۹۹ درصد) به صورت دیم و ۵۹۷۳ هکتار (یک درصد) به صورت آبی کشت شد. بیش‌ترین سطح برداشت شده دیم نخود (۱۴۰۱۱۵ هکتار) با تولید کل ۹۰ هزار تن متعلق به استان کرمانشاه بود (Anonymous, 2024). متوسط عملکرد نخود در جهان و ایران به ترتیب ۱۰۵۷ و ۴۸۰ کیلوگرم در هکتار است (Anonymous, 2021; FAOSTAT, 2024).

در اکثر خاک‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران، به دلیل بالابودن درصد بی‌کربنات، pH بالای خاک، مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی از جمله فسفر، مواد آلی کم خاک و عدم توجه به کاربرد کودهای ریزمغذی، کمبود ریز مغذی‌ها در خاک و در نتیجه گیاهان زراعی کاملاً نمایان است (Naorem *et al*., 2023). در چنین شرایطی محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی جهت تغذیه گیاه در مقایسه با کاربرد در خاک و پرایمینگ بذر کارایی بیش‌تری دارد (Bana *et al*., 2022; Sathiyamurthy *et al*., 2017). در همین ارتباط Math *et al*. (2022) نشان دادند که تیمارهای محلول‌پاشی سولفات روی و آهن در مراحل مختلف نمو به ترتیب سبب افزایش ۲۰ و ۱۹ درصدی عملکرد دانه نخود شدند. در این تحقیق همچنین مقایسه بین روش‌های مختلف خاک کاربرد، پرایم بذر و محلول‌پاشی انجام شد. در این شرایط روش محلول‌پاشی کارایی بیش‌تری داشت. در بررسی دیگری افزایش ۳۶ و ۱۸ درصدی عملکرد دانه به ترتیب تحت تاثیر تیمارهای محلول‌پاشی سولفات روی و بور ۴۵ روز بعد از کشت در نخود مشاهده شد (Rathod *et al*., 2020). برخلاف نتایج ذکر شده، Hidoto *et al*. (2017) مشاهده نمودند که اعمال تیمارهای محلول‌پاشی عنصر روی اثر معنی‌داری در افزایش عملکرد دانه، وزن دانه و تعداد غلاف در بوته نخود نداشت، اما درصد روی دانه را حدود ۲۱ درصد افزایش داد. Rathod *et al*. (2020) و Drostkar *et al*. (2016) نشان دادند تیمارهای مختلف محلول‌پاشی آهن و روی سبب افزایش عملکرد دانه نخود شدند. بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه در این شرایط در تیمارهای ترکیبی آهن و روی نسبت به تیمارهای جداگانه آن‌ها بود. Roy *et al*. (2013) نقش عنصر ریزمغذی روی را در افزایش کارایی مصرف آب، ایجاد گرهک‌های همزیستی باکتری ریزوبیوم بر روی ریشه و افزایش تثبیت نیتروژن توسط نخود گزارش نمودند. Bhuriya *et al*. (2023) نقش عنصر ریزمغذی آهن را در افزایش عملکرد نخود بیش‌تر به افزایش بیوسنتز کلروفیل، انتقال الکترون و انرژی و تثبیت نیتروژن ربط دادند. Brdar-Jokanovic (2020) اعلام کردند کمبود عنصر بور در بین عناصر کم

مصرف پس از روی و آهن بیش‌ترین خسارت را بر محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک وارد می‌کند.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی استفاده از کودهای نانو جهت تغذیه گیاهان زراعی می‌باشد. از خصوصیات این ترکیبات سرعت بالا و جذب کامل آن‌ها توسط گیاه می‌باشد که به خوبی نیازها و کمبودهای غذایی را بر طرف می‌سازد (El-Saadony *et al.*, 2021). اندازه ذرات نانو بین یک تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد (Kerdtoob *et al.*, 2024). به علت برخی ویژگی‌های خاص نانوذرات از جمله ویژگی‌های مغناطیسی یکسان، داشتن سطح مخصوص بالا و وضعیت الکترونی خاص موجب شده است که این ذرات در مقایسه با مواد معمولی، واکنش‌پذیری مناسب‌تری داشته باشند (Beig *et al.*, 2022). در این ارتباط، Dhaliwal *et al.* (2021) گزارش نمودند که نانوذرات آهن و روی در مقایسه با فرم بالک آن‌ها سبب افزایش معنی‌دار و بیش‌تر عملکرد دانه نخود شدند. در این شرایط اعمال قبل از گلدهی محلول کود حاوی نیم درصد آهن و روی نسبت به استفاده جداگانه آن‌ها عملکرد دانه را بیش‌تر افزایش داد. در یک تحقیق محلول‌پاشی نانوذرات روی در برنج در مقایسه با تیمار شاهد (عدم اعمال کود) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه (۴ درصد) شد. در این شرایط اثر نانوذرات روی بر کیفیت دانه برنج بیش‌تر بود (Wang *et al.*, 2023). Drostkar *et al.* (2016) گزارش دادند که تیمار محلول‌پاشی نانوذرات آهن و روی سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی شدند. در این شرایط بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه در حدود ۳۴ درصد (۱۳۷۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به تیمار عدم مصرف کود مشاهده شد.

یکی از دلایل پایین بودن عملکرد نخود در اغلب مناطق کشت نخود در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود فرم قابل جذب عناصر ریزمغذی از جمله آهن و روی در محلول خاک می‌باشد. از طرفی امروزه استفاده از نانوذرات در بخش‌های مختلف کشاورزی از جمله در زراعت در حال افزایش است. یکی از این کاربردها استفاده از کودهای نانوذره است. تحقیقات صورت گرفته در این ارتباط با کاربرد کودهای نانوذره و میزان تاثیر آن‌ها مخصوصاً در مقایسه به کودهای بالک (کودهای رایج) کامل نبوده و نیاز به تحقیقات بیش‌تر در این زمینه وجود دارد. بنابراین این تحقیق با هدف مقایسه میزان تاثیر تیمارهای محلول‌پاشی کودهای بالک و نانوذره آهن و روی بر عملکرد دانه و صفات زراعی مرتبط با آن در نخود زراعی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۰ متر) به صورت کشت دیم در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ و متوسط میزان بارندگی و تغییرات دما در سال زراعی اجرای آزمایش در شکل ۱ آمده است. رقم نخود زراعی مورد استفاده در این پژوهش، رقم سعید بود که سازگار با شرایط اقلیمی منطقه (خشک و نیمه خشک) و مقاوم به بیماری فوزاریوم و برق‌زدگی می‌باشد. این رقم در سال ۱۳۹۴ معرفی شد و همراه با رقم‌های عادل و منصور سهم مهمی در سطح زیرکشت نخود در استان کرمانشاه و استان‌های همجوار دارند (Saeed *et al.*, 2017). بذرها از معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود تهیه شد.

در این تحقیق کلات‌های نانوذره و بالک آهن و روی و کلات بور فقط به صورت نانوذره در ابتدای رشد رویشی و ابتدای گلدهی به ترتیب با کدهای ۳۰ و ۶۰ در سیستم کدبندی BBCH (Weber and Bleiholder, 1990) به منظور تاثیر مستقیم بر رشد رویشی و زایشی و به صورت محلول‌پاشی استفاده شدند. لازم به ذکر است که جهت افزایش دقت در نتایج تحقیق، نتایج مزرعه‌ای مربوط به تیمار محلول‌پاشی بور بالک به دلیل تفاوت شرکت سازنده آن با

سایر کودها از تحقیق حذف شدند. نانوکودها بر اساس فناوری کلات‌های پیشرفته که در اداره ثبت اختراعات آمریکا به تایید و ثبت نهایی رسیده است، تولید شدند (Joshi *et al*., 2018; Fakharzadeh *et al*., 2020). نانوکودهای کلات‌های آهن، روی و بور براساس نیاز تحقیقاتی شرکت صدور احرار شرق و اغلب مناطق کشت نخود از شرکت ذکر شده تهیه شدند. غلظت کودهای نانوذره و بالک براساس دستورالعمل ذکر شده توسط شرکت سازنده انتخاب شدند. سطوح تیمار کودی در این تحقیق در جدول ۲ ذکر شده‌اند.

Table 1. Physico-chemical properties of experimental soil (Sampling depth 30 cm)

Parameters		Parameters	
Sand (%)	10.7	N (%)	0.09
Silt (%)	43.9	P (mg kg^{-1})	12.5
Clay (%)	45.4	K^{+} (mg kg^{-1})	360
Texture	Silty clay	Cu^{2+} (mg kg^{-1})	1.8
pH (1:2)	7.8	Fe^{2+} (mg kg^{-1})	4.2
EC (ds m^{-1})	0.62	Zn^{2+} (mg kg^{-1})	1.12
OC (%)	1.71	BO_3^{-} (mg kg^{-1})	0.14

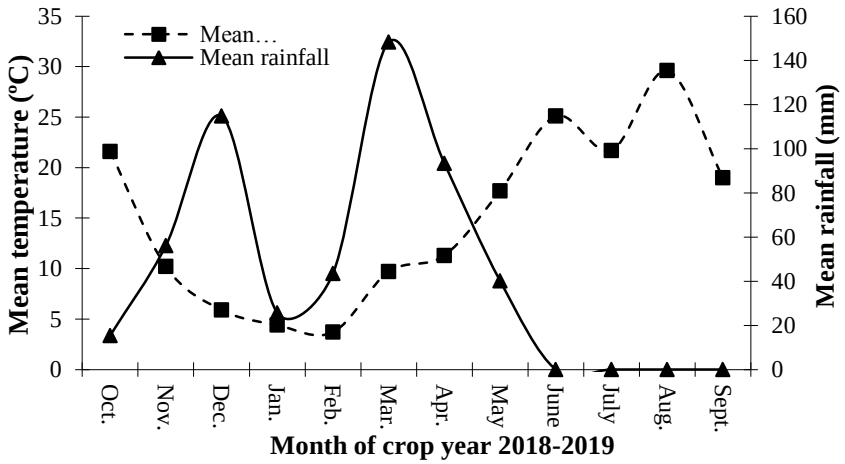

Figure 1. Changes in temperature and rainfall in the crop year of 2018-2019 in Kermanshah.

Table 2. Foliar spraying treatments of bulk and nanoparticle fertilizers of iron, zinc, and boron.

Control	Bulk fertilizers	Nanoparticle fertilizers		
Foliar Spraying of water	Fe 2	Fe 2	Fe 2 + Zn 2	Fe 2 + Zn 2 + B 2
	Fe 4	Fe 4	Fe 4 + Zn 4	Fe 4 + Zn 4 + B 4
	Fe 8	Fe 8	Fe 8 + Zn 8	Fe 8 + Zn 8 + B 8
	Zn 2	Zn 2	Fe 2 + B 2	
	Zn 4	Zn 4	Fe 4 + B 4	
	Zn 8	Zn 8	Fe 8 + B 8	
		B 2	Zn 2 + B 2	
		B 4	Zn 4 + B 4	
		B 8	Zn 8 + B 8	

Fe, Zn and B, 2, 4 and 8 are concentrations of 2, 4, and 8 g l^{-1} of iron, zinc and boron, respectively.

به منظور جذب بهتر کودها توسط گیاه، محلول‌پاشی در زمان خنک شدن هوا هنگام غروب آفتاب انجام شد. همچنین به منظور افزایش و تسهیل جذب عناصر غذایی از تیپول با غلظت یک در هزار به عنوان سورفاکتانت استفاده شد (Alam *et al*., 2020). در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) نیز به مقدار تیمارهای کودی، آب و سورفاکتانت استفاده شد. جهت جلوگیری از نفوذ عناصر ریزمغذی حین محلول‌پاشی به کرت‌های مجاور از حایل‌های مقوایی استفاده شد.

تهیه‌ی بستر کشت در اوایل پاییز سال قبل با گاوآهن برگرداندار آغاز شد. اوایل اسفندماه نیز قبل از کشت عملیات آماده‌سازی بستر کشت با دیسک زدن (به منظور نرم کردن خاک) و سپس تسطیح زمین انجام شد. در ادامه پس از اجرای نقشه، کشت در تاریخ ۱۳ اسفند ۱۳۹۸ انجام شد. بذرها قبل از کشت جهت پیشگیری از بیماری‌های قارچی با سم کاپتان به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. در این آزمایش هر بلوک دارای ۲۸ کرت به طول چهار متر و پنج خط کشت بودند. کشت در عمق هفت سانتی‌متری از سطح خاک به صورت دستی در ردیف‌هایی به فواصل ۲۵ سانتی‌متر انجام شد و تراکم نهایی ۳۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد (Saeed *et al*., 2017). با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، صرفاً ۲۵ کیلوگرم کود نیتروژن خالص از منبع اوره در زمان کشت به عنوان استارتر تثبیت نیتروژن اعمال شد. مبارزه با علف‌های هرز نیز به صورت دستی انجام شد. در زمان رسیدگی با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای از هر کرت یک متر مربع به صورت برش از سطح زمین برداشت شد. با توزین کل وزن به دست آمده، عملکرد زیست‌توده (بر حسب کیلوگرم در هکتار) و پس از بوجاری و جداکردن دانه‌ها با وزن کردن آن‌ها، عملکرد دانه (بر حسب کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد. از طریق تقسیم کردن عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده و ضرب کردن نتیجه حاصله در ۱۰۰، شاخص برداشت (بر حسب درصد) نیز محاسبه شد. وزن هزار دانه (بر حسب گرم) نیز با انتخاب پنج نمونه تصادفی از بذرهای هر کرت و محاسبه وزن آن‌ها با ترازوی دقیق و میانگین گرفتن از پنج عدد به دست آمده محاسبه شد. همچنین از خط‌های میانی هر کرت با حذف اثرات حاشیه ۱۰ بوته به صورت تصادفی از کف زمین برداشت شده و در ادامه صفت‌های ارتفاع بوته (بر حسب سانتی‌متر)، تعداد نیام در هر بوته، تعداد دانه در نیام، تعداد دانه در بوته و تعداد شاخه فرعی در بوته در هر ۱۰ بوته به صورت جداگانه اندازه‌گیری شدند و متوسط اعداد به دست آمده برای هر صفت لحاظ شد. بعد از اندازه‌گیری صفت‌ها و بررسی نرمال بودن روند توزیع میانگین داده‌ها توسط نرم‌افزار Minitab (Version 21)، تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS (Version 9.2) انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. لازم به ذکر است که برای مقایسه نوع کودها بدون توجه به غلظت آن‌ها، نتایج غلظت-های هر نوع کود (۲، ۴ و ۸ گرم در لیتر) در هر تکرار میانگین‌گیری شدند. بر این اساس نوع کودها ۱۰ مورد به صورت زیر بودند:

۱) آهن نانوذره، ۲) روی نانوذره، ۳) بور نانوذره، ۴) آهن نانوذره + روی نانوذره، ۵) آهن نانوذره + بور نانوذره، ۶) روی نانوذره + بور نانوذره، ۷) آهن نانوذره + روی نانوذره + بور نانوذره، ۸) آهن بالک، ۹) روی بالک و ۱۰) تیمار شاهد (عدم اعمال تیمار کودی). مقایسه آماری نوع کودها نیز به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها نیز همانند طرح اصلی با استفاده از روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، میانگین عملکرد دانه نخود ۸۱۴ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲). در همین ارتباط، براساس آخرین گزارش فائو میانگین عملکرد جهانی نخود ۱۰۸۴ کیلوگرم در هکتار است (FAO, 2021). به احتمال زیاد یکی از دلایل اصلی پایین بودن عملکرد دانه در این تحقیق نسبت به میانگین جهانی آن، ضعف فعالیت‌های به-زراعی مخصوصاً تغذیه نامناسب است. براساس نتایج جدول خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای تحقیق (جدول ۱) و نتایج تحقیقات قبلی که در آن‌ها حد کفایت غلظت فرم قابل جذب این عناصر در محلول خاک بررسی

شده است، غلظت فرم قابل جذب عناصر آهن، روی و بور در خاک مورد بررسی در حد کفایت نیست (Malakouti and Tehrani, 2005; Ullah *et al*., 2020). کمبود مواد آلی، کمبود رطوبت و قلیایی بودن محلول خاک مورد بررسی در این تحقیق (جدول ۱) می‌تواند در تشدید کمبود فرم قابل جذب این عناصر در محلول خاک موثر باشد. این خصوصیات مخصوصاً در شرایط کشت دیم که رطوبت خاک پایین است، سبب می‌شود جذب این عناصر توسط گیاه محدودتر شود و در نهایت عملکرد دانه نسبت به پتانسیل تولیدی رقم کاهش یابد. این مشکل در اکثر خاک‌های کشاورزی دیم ایران در مناطق غربی کشور وجود دارد. کود نانوذره آهن + روی + بور سبب تولید بیش‌ترین عملکرد دانه با ۱۱۹۶ کیلوگرم در هکتار یا ۴۷ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد (۸۱۴ کیلوگرم در هکتار) شد. البته اثر این تیمار کودی با اثر کودهای نانوذره آهن + روی و بالک روی به ترتیب با عملکرد ۱۱۰۸ و ۱۰۵۳ کیلوگرم در هکتار یا ۳۶ و ۲۹ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد، تفاوت معنی‌دار نداشت. کودهای نانوذره آهن، روی و بور و کود بالک آهن نسبت به تیمار شاهد برتری معنی‌دار نداشتند و کم‌ترین عملکرد دانه مربوط به این تیمارها همراه با تیمار شاهد بود (جدول ۵). با توجه معنی‌دار نشدن اثر بلوک در مورد صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۳ و ۴)، طرح به صورت کاملاً تصادفی نیز تجزیه شد. با توجه به اینکه تفاوتی در نتایج تجزیه واریانس داده‌ها دیده نشد، تجزیه واریانس براساس طرح اولیه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. بین نوع کودهای اعمال شده از نظر عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در نیام، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال یک درصد و شاخص برداشت و وزن صد دانه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳). کودهای ترکیبی نانوذره نسبت به کودهای ساده در افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد برتر بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر فرم نانوذره و بالک کودهای آهن و روی در تیمار ساده آن‌ها (شکل ۲)، نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری از نظر اثر بر عملکرد دانه بین دو نوع کود وجود نداشت. این نتایج مخالف با نتایج Abdel-Hakim *et al.* (2023) و Nongbet *et al.* (2022) است. آن‌ها برتری کودهای نانوذره نسبت به کودهای بالک را در افزایش عملکرد گزارش نمودند. موافق با نتایج این تحقیق Sabaghnia and Janmohammad (2023) نشان دادند که کودهای نانوذره آهن و روی در کشت نخود زمانی اثر معنی‌دار در افزایش عملکرد دانه داشتند که دو بار آبیاری تکمیلی در مراحل نمو آن انجام شد و کارایی این کودها در شرایط عدم آبیاری تکمیلی به طور معنی‌داری کاهش یافت. به نظر می‌رسد که در شرایط کشت دیم کمبود رطوبت یکی از مهم‌ترین موانع در کاربرد کودهای نانوذره است و کاربرد کودهای نانوذره در کشت دیم نیاز به بررسی‌های بیش‌تر دارد.

Table 3. Variance analysis (mean square) of different groups of bulk and nanoparticle forms of iron, zinc and boron fertilizers on grain yield and some related traits of rainfed chickpea

Source of Variations	d.f.	GY	BY	HI	PP	SP	SPl	PH	BP	100GW
Block	2	1312^{ns}	5219^{ns}	3.19^{ns}	7.1^{ns}	0.01^{ns}	1.12^{ns}	1.05^{ns}	0.08^{ns}	1.78^{ns}
Fertilizer kind	9	5776^{**}	22745^{**}	5.19^{*}	27.1^{**}	0.015^{**}	47.1^{**}	26.2^{**}	0.29^{**}	3.12^{*}
Error	18	1289	4973	1.95	5.6	0.003	6.6	0.82	0.04	1.11
C.V.%		11.1	9.20	4.13	10.8	10.4	5.33	4.51	5.72	3.90

GY: grain yield, BY: biomass yield, HI: harvest index, PP: number of pod plant-1, SP: number of seed pod-1, SPl: number of seed plant-1, PH: plant height, BP: number of branches in plant, 100GW: 100 grain weight. ^{ns}, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively. df: degree of freedom; C.V: coefficient of variation

Table 4. Variance analysis (mean square) of different concentrations of bulk and nanoparticle forms of iron, zinc and boron fertilizers on grain yield and some related traits of rainfed chickpea

Source of Variations	d.f.	GY	BY	HI	PP	SP	SPl	PH	BP	100GW
Block	2	457^{ns}	1681^{ns}	18.2^{ns}	25.0^{ns}	0.03^{*}	4.42^{ns}	2.03^{ns}	0.22^{ns}	6.32^{ns}
Fertilizer's concentration	27	1403^{**}	6491^{**}	8.50^{ns}	43.0^{**}	0.02^{**}	61.6^{**}	30.4^{**}	0.41^{**}	7.40^{*}
Error	54	365	2050	7.91	14.3	0.001	21.1	2.01	0.13	2.93
C.V.%		16.0	14.5	6.83	16.9	18.5	7.10	6.02	8.62	4.81

GY: grain yield, BY: biomass yield, HI: harvest index, PP: number of pod plant^{-1}, SP: number of seed pod^{-1}, SPl: number of seed plant^{-1}, PH: plant height, BP: number of branches in plant, 100GW: 100 grain weight. ^{ns}, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively. df: degree of freedom; C.V: coefficient of variation.

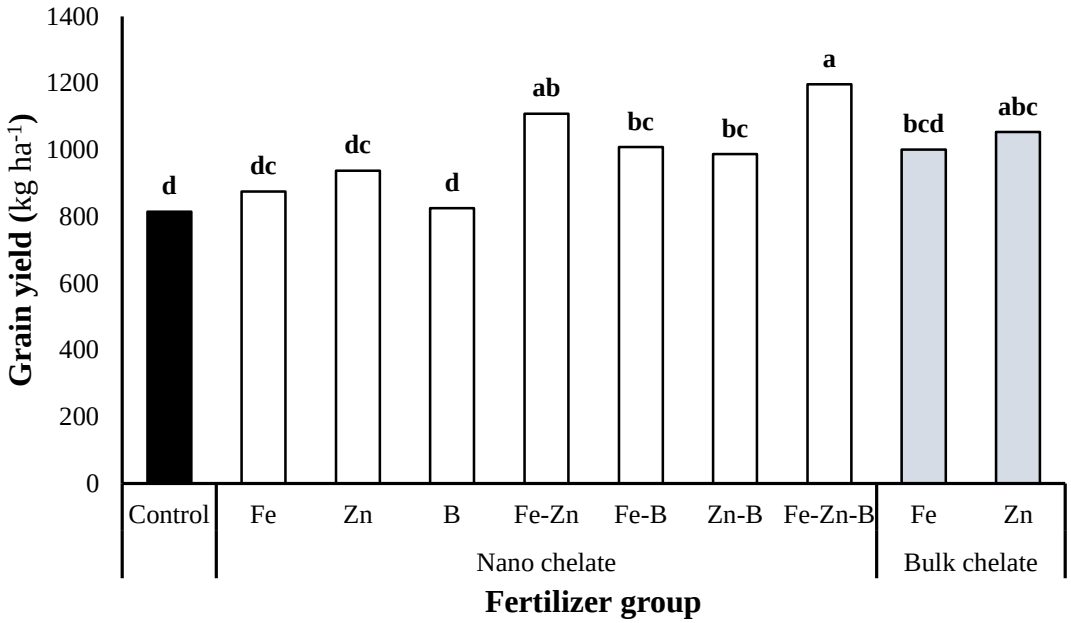

Figure 2. Means comparison of foliar spraying of bulk and nanoparticle forms of iron (Fe), zinc (Zn), and boron (B) fertilizers on chickpea grain yield in rainfed condition. Columns with at list a similar letter are not significantly different (P<0.05) based on Duncan's test at the five percent probability level.

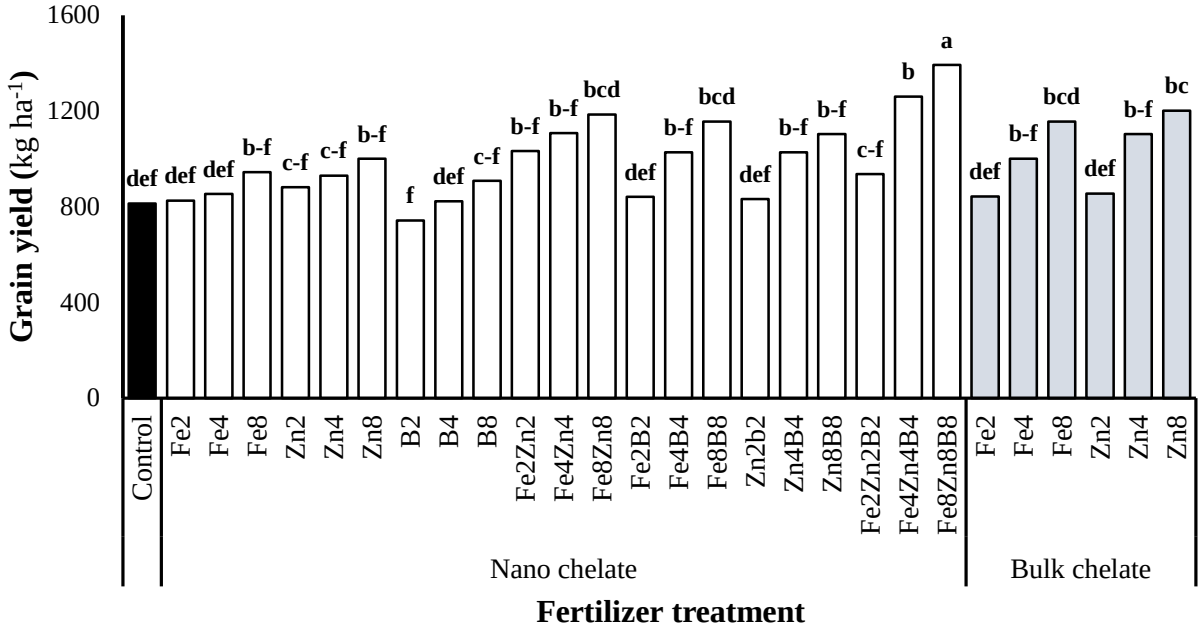

Figure 3. Means comparison of different concentrations of bulk and nanoparticle forms of iron (Fe), zinc (Zn), and boron (B) fertilizers on chickpea grain yield in rainfed condition. Fe (Zn, B) 2, 4, and 8: iron (zinc, boron) 2, 4, and 8 g l^{-1}. Columns with at list a similar letter are not significantly different (P<0.05) based on Duncan's test at the five percent probability level.

نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کودهای نانوذره و بالک آهن، روی و بور بر عملکرد دانه نشان داد با افزایش غلظت سایر کودها به ترتیب از دو تا هشت گرم در لیتر میانگین عملکرد دانه افزایش یافت. لازم به ذکر است که در اثر اعمال تیمار غلظت ۱۲ گرم در لیتر کودها برگ‌ها دچار برگ سوختگی شدید شدند. بنابراین این تیمار از آزمایش حذف شد (نتایج ارائه نشده است). بیش‌ترین افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در تیمار نانوذره آهن ۸ + روی ۸ + بور ۸ با ۱۳۹۲ کیلوگرم یا ۷۱ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد به دست آمد. در این شرایط غلظت‌های مختلف کود نانوذره آهن و روی نسبت به فرم بالک آن‌ها برتری نداشت (جدول ۴). افزایش عملکرد دانه با اعمال تیمار محلول‌پاشی کود آهن ممکن است به دلیل نقش آن در افزایش سرعت فتوسنتز و در نتیجه آن افزایش بیوسنتز کربوهیدرات‌ها و همچنین افزایش بیوسنتز پروتئین‌ها باشد. آهن همچنین سنتز هورمون اکسین، کلروفیل و اسیدهای نوکلئیک را نیز تحریک می‌کند (Pal *et al*., 2019; Schmidt *et al*., 2020; Dhaliwal *et al*., 2021). تاثیر مثبت محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه نیز ممکن است به دلیل نقش محوری آن در تحریک سنتز رنگدانه‌ها و تنظیم فعالیت آنزیم‌ها مخصوصاً در سیستم فتوسنتزی گیاه باشد (Dhaliwal *et al*., 2021). محلول‌پاشی کود بور نیز احتمالاً از طریق تاثیر بر رشد سلول‌ها و افزایش سرعت انتقال مواد غذایی از عرض غشاء سبب افزایش عملکرد دانه نخود می‌شود (Shireen *et al*., 2018). Waraich *et al*. (2012) علت افزایش عملکرد دانه با کاربرد کودهای ریزمغذی را به نقش این کودها در افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و سنتز ترکیبات آنتی اکسیدان و در نتیجه کاهش تجمع انواع اکسیژن فعال مرتبط دانستند. برخلاف نتایج این تحقیق Avila-Quezada *et al*. (2022) بیان کردند جایگزین نمودن نانوکودهای حاصل از فناوری نانو به جای کاربرد کودهای بالک از دو جنبه مهم شامل افزایش عملکرد و کاهش آلایندگی مواد شیمیایی در محیط زیست، نشان از مقرون به صرفه بودن

این جایگزینی می‌باشد. اما با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد که در شرایط کشت دیم کارایی کودهای نانوذره نسبت به کودهای بالک معنی‌دار نبوده و بهتر است بررسی‌های بیش‌تری در این ارتباط صورت گیرد. البته افزایش عملکرد دانه تحت تاثیر تیمارهای محلول-پاشی آهن و روی بالک و بور بالک همانند نتایج این تحقیق توسط محققین دیگر نیز در شرایط کشت دیم گزارش شده است (Shahgholi *et al*., 2023; Elahi *et al*., 2022; Pal *et al*., 2019). اثر معنی‌دار و مثبت تیمار آهن نانوذره ۸ + روی ۸ + بور ۸ بر عملکرد دانه با نتایج آزمون فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۱) که نشان‌دهنده کمبود فرم قابل جذب آهن، روی و بور در محلول خاک بود، هماهنگی داشت. در این ارتباط Shahgholi *et al*. (2023) نیز در بررسی نقش تیمارهای محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در افزایش عملکرد دانه نخود نتیجه گرفتند که کاربرد همزمان کودهای ریزمغذی که کمبود آن‌ها در خاک وجود دیده شد، بیش‌ترین اثر مثبت را بر عملکرد دانه نخود داشت.

براساس نتایج (جدول ۵) تیمار کودهای آهن و روی بالک نسبت به تیمارهای آهن و روی نانوذره از نظر تاثیر مثبت بر عملکرد زیست‌توده برتری داشتند. در بین سایر تیمارهای کودی، کود نانوذره آهن + روی + بور بالاترین عملکرد زیست‌توده با ۲۸۵۹ کیلوگرم در هکتار را نسبت به تیمار شاهد (۲۰۶۵ کیلوگرم در هکتار) تولید نمود. البته این افزایش، با افزایش عملکرد زیست‌توده ناشی از اعمال تیمارهای نانوذره آهن + روی و بالک آهن و روی تفاوت معنی‌داری نداشت. در این تحقیق کم‌ترین مقدار افزایش در عملکرد زیست‌توده مربوط به تیمارهای ساده کودهای نانوذره آهن، روی و بور بود (جدول ۶). در توجیه نتایج به دست آمده، Ghiasi *et al*. (2023) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی به دلیل رفع کمبود و اثر تغذیه‌ای خود باعث افزایش تعادل در رشد، تنظیم فرایندهای نمو در گیاه و در نهایت بهبود عملکرد زیست‌توده گردید. افزایش عملکرد زیست‌توده با کاربرد کودهای ریزمغذی در گندم توسط Shahgholi *et al*. (2023) و در نخود نیز توسط Kaur *et al*. (2020) نیز گزارش شده است. مقایسه میانگین اثر نوع کود بر شاخص برداشت نشان داد که کودهای نانوذره ترکیبی از طریق افزایش بیش‌تر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیست‌توده، سبب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت نسبت به سایر کودها و تیمار شاهد شدند.

Table 5. Means comparison of different groups of bulk and nanoparticle forms of iron (Fe), zinc (Zn), and boron (B) fertilizers on chickpea grain yield and some related traits in rainfed condition.

Foliar application Group	BY (kg ha^{-1})	HI (%)	100GW (g)	PP	SP	SPl	PH (cm)	BP
Control	2065 ^{e}	39.4 ^{c}	34.3 ^{d}	16.0 ^{d}	1.18 ^{d}	17.8 ^{d}	26.56 ^{c}	3.14 ^{d}
Fe nano	2151 ^{de}	40.6 ^{bc}	34.9 ^{cd}	21.8 ^{abc}	1.22 ^{cd}	21.5 ^{cd}	28.33 ^{b}	3.42 ^{cd}
Zn nano	2306 ^{cde}	40.6 ^{bc}	35.1 ^{cd}	20.7 ^{bc}	1.29 ^{bc}	22.0 ^{cd}	27.46 ^{bc}	3.56 ^{bc}
B nano	2066 ^{e}	39.9 ^{bc}	35.1 ^{cd}	18.1 ^{cd}	1.27 ^{bcd}	19.9 ^{d}	26.96 ^{bc}	3.18 ^{d}
Fe+Zn nano	2620 ^{abc}	42.3 ^{a}	37.5 ^{a}	24.6 ^{ab}	1.34 ^{b}	27.9 ^{ab}	31.03 ^{a}	3.98 ^{a}
Fe+B nano	2400 $^{b-e}$	42.0 ^{a}	36.3 ^{abc}	23.6 ^{ab}	1.28 ^{bc}	25.6 ^{bc}	31.53 ^{a}	3.85 ^{ab}
Zn+B nano	2407 $^{b-e}$	41.0 ^{ab}	36.5 ^{abc}	23.7 ^{ab}	1.30 ^{b}	26.9 ^{ab}	31.76 ^{a}	4.06 ^{a}
Fe+Zn+B nano	2859 ^{a}	41.8 ^{a}	37.4 ^{a}	25.8 ^{a}	1.42 ^{a}	30.8 ^{a}	32.39 ^{a}	4.06 ^{a}
Fe conventional	2517 $^{a-d}$	39.7 ^{bc}	35.8 $^{a-d}$	22.9 ^{ab}	1.24 ^{bcd}	24.9 ^{bc}	31.77 ^{a}	3.61 ^{bc}
Zn conventional	2624 ^{abc}	40.1 ^{bc}	35.7 ^{bcd}	21.8 ^{abc}	1.30 ^{b}	25.3 ^{bc}	31.66 ^{a}	3.75 ^{abc}

BY: biomass yield, HI: harvest index, 100GW: 100 grain weight, PP: number of pod plant^{-1}, SP: number of seed pod^{-1}, SPl: number of seed plant^{-1}, PH: plant height, BP: number of branches in plant. Columns with at list a similar letter are not significantly different ($P<0.05$) based on Duncan's test at the five percent probability level.

در این شرایط تفاوت معنی‌داری بین سایر کودهای ترکیبی نانوذره وجود نداشت. از نظر عددی کود نانوذره آهن + روی بالاترین شاخص برداشت را با میانگین ۴۲/۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (۳۹/۴ درصد) داشت. در این شرایط برتری معنی‌داری بین کودهای آهن و روی بالک با فرم نانوذره آن‌ها از نظر تاثیر گذاری بر شاخص برداشت وجود نداشت (جدول ۵). از نظر غلظت کودها تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف کودها از نظر تاثیر بر صفت شاخص برداشت وجود نداشت، ولی به طور کلی غلظت هشت گرم در لیتر کودها اثر مثبت بیش‌تری در افزایش این صفت داشتند (جدول ۶). موافق با نتایج به دست آمده در مورد اثر کودهای ترکیبی نانوذره بر افزایش معنی-دار شاخص برداشت، Sabaghnia and Janmohammad (2023) نیز با بررسی اثر نانوذرات بر نخود در شرایط دیم گزارش نمودند نانوذرات سبب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت شده‌اند. همچنین نتایج مشابهی توسط Kamaraki and Galavi (2012) در محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی آهن، روی و بور بر شاخص برداشت گیاه گلرنگ گزارش شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که احتمالاً کمبود هر سه عنصر ریزمغذی (آهن، روی و بور) براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) در محلول خاک وجود دارد، به نوعی که کاربرد یکی از آن‌ها سبب بهبود عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص برداشت نمی‌شود، بلکه کاربرد ترکیبی آن‌ها بیش‌تر تاثیر گذار است.

مقایسه میانگین‌های اثر نوع کودها بر وزن صد دانه نخود نشان داد (جدول ۵)، کودهای ترکیبی دو گانه و سه گانه آهن و روی بیش‌ترین اثر مثبت و معنی‌دار را به همراه فرم بالک آهن بر افزایش وزن صد دانه داشتند، ولی تفاوت بین آن‌ها معنی‌دار نبود. از نظر عددی، کودهای نانوذره آهن + روی (با ۳۷/۵ گرم) و هم‌چنین کاربرد سه‌گانه کودهای نانوذره آهن + روی + بور (با ۳۷/۴ گرم) بالاترین وزن صد دانه نخود به ترتیب با ۹/۳ و ۹/۰ درصد افزایش نسبت به گروه شاهد (۳۴ گرم) را تولید نمودند (جدول ۵). در مورد این صفت نیز همانند دیگر صفت‌های زراعی بررسی شده، کودهای نانوذره آهن و روی نسبت به فرم بالک آن‌ها برتری نداشتند. مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کودها بر وزن صد دانه نخود نشان داد (جدول ۶) که در تمامی کودها هر چه بر میزان غلظت آن‌ها افزوده شد، وزن صد دانه نیز نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) بیش‌تر شد. در این شرایط غلظت هشت گرم در لیتر سایر کودها به غیر از آهن هشت گرم در لیتر از نظر وزن صد دانه از تیمار شاهد برتر بودند، ولی تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها نبود. از نظر عددی بیش‌ترین وزن صد دانه در کاربرد گروه کودی نانوذره آهن + روی و در غلظت هشت گرم در لیتر با ۳۹/۱ گرم یا ۱۳/۹ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۶). براساس گزارش Moradi and Soltani Howyzeh (2018) در بین اجزاء عملکرد، وزن هزار دانه از جمله اجزایی است که از وراثت پذیری بالایی برخوردار است و بیش‌تر تحت کنترل ژنتیکی می‌باشد و کم‌تر تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که بین اجزاء عملکرد دانه و دیگر صفات مرتبط با عملکرد دانه، وزن صد دانه کم‌ترین تغییرات را در اثر اعمال تیمارهای کود ریزمغذی آهن، روی و بور داشت.

مقایسه میانگین تیمار نوع کود از نظر تاثیر بر صفت تعداد نیام در بوته نشان داد (جدول ۵)، به غیر از بور نانوذره، سایر کودها سبب افزایش معنی‌دار تعداد نیام در بوته در مقایسه با تیمار شاهد (۱۶ عدد) شدند. در این شرایط سایر کودها نسبت به کود نانوذره روی از نظر تاثیر گذاری بر صفت تعداد نیام در بوته برتر بودند. از نظر عددی کاربرد کود نانوذره آهن + روی + بور بالاترین تعداد نیام در بوته نخود را با میانگین ۲۵/۸ عدد داشت. بین کودهای نانوذره آهن و روی و فرم بالک آن‌ها از نظر تاثیر گذاری بر تعداد نیام در بوته تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کودهای بالک و نانوذره بر تعداد نیام در بوته نشان داد (جدول ۶) که با افزایش غلظت کاربرد کودهای نانوذره و بالک تعداد نیام در بوته نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر شد، اما میزان این افزایش برای دو عنصر

آهن و روی نسبت به عنصر بور بیش‌تر بود. بیش‌ترین میزان تعداد نیام در بوته در کاربرد سه گانه کودهای نانوذره و در غلظت هشت گرم در لیتر با میانگین ۲۸/۳ عدد نیام در بوته (افزایش ۷۶/۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) حاصل شد (جدول ۶). مطابق با نتایج این تحقیق در آزمایش Ahmadi *et al.* (2020) نیز کاربرد عنصر ریزمغذی آهن موجب افزایش تعداد نیام در بوته و در نهایت عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نخود شد. افزایش تعداد نیام در بوته در شرایط اعمال تیمارهای کود ریزمغذی آهن، روی و بور می‌تواند به اثر مثبت آن‌ها در متابولیسم گیاه و مخصوصاً افزایش کارایی فتوسنتز و در نهایت شکل‌گیری تعداد بیش‌تر نیام در بوته شود (Dhaliwal *et al.*, 2021).

مقایسه میانگین اثر نوع کودها بر صفت تعداد دانه در بوته نشان داد که کاربرد کود نانوذره آهن + روی + بور با میانگین ۳۰/۸ دانه در بوته، بالاترین تعداد دانه در بوته (افزایش ۷۳/۰ درصد نسبت به تیمار شاهد) را نسبت به تیمار شاهد با ۱۷/۸ عدد تولید نمودند (جدول ۵). البته این افزایش با اثر مثبت کودهای نانوذره آهن + روی و آهن + بور بر صفت تعداد دانه در بوته تفاوت معنی‌دار نداشت. با بررسی اثر غلظت‌های مختلف نیز بر صفت تعداد دانه در بوته مشخص شد که در تمامی کودها هر چه بر میزان غلظت کاربرد آن‌ها افزوده شد، تعداد دانه در بوته نیز نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) بیش‌تر شد. بیش‌ترین میزان تعداد دانه در بوته در کاربرد سه گانه کودهای نانوذره (آهن + روی + بور) و در غلظت هشت گرم در لیتر با ۳۳/۸ عدد دانه در بوته (افزایش ۹۰/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد) به دست آمد که با اکثر کودها مخصوصاً در غلظت هشت گرم در لیتر تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۶). در میان اجزاء عملکرد معمولاً کاهش تعداد دانه در بوته بیش‌ترین سهم را در تغییرات عملکرد دانه دارد (Joshi *et al.*, 2018). این صفت تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف زراعی و هم‌چنین شرایط مختلف محیطی تغییرات زیادی از خود نشان می‌دهد. کاربرد عناصر ریزمغذی در مناطقی که کمبود آن‌ها در محلول خاک دیده می‌شود، با افزایش سرعت فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها، سبب افزایش ذخیره کربوهیدرات دانه گرده، افزایش طول عمر دانه گرده و در نهایت افزایش میزان گرده‌افشانی و تشکیل تعداد دانه بیش‌تر می‌شود (Polar, 1975). Falaknaz *et al.* (2022) دلیل افزایش تعداد دانه در بوته را در این شرایط به افزایش فتوسنتز و متابولیسم گیاهی و انتقال بیش‌تر مواد غذایی به سمت گل‌ها و تبدیل تعداد بیش‌تری از سلول‌های تخم به دانه (میوه نشینی) و پرشدن تعداد بیش‌تری از آن‌ها می‌شود. مطابق با نتایج این تحقیق، Soheili Movahhed *et al.* (2019) اعمال تیمارهای ترکیبی عناصر ریزمغذی نسبت به فرم جداگانه آن‌ها را در شکل‌گیری تعداد دانه در بوته بیش‌تر موثر دانستند.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، کود نانوذره آهن + روی + بور سبب تولید بیش‌ترین تعداد دانه در نیام با ۱/۴۲ عدد یا افزایش ۲۰/۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد. کم‌ترین تعداد دانه در نیام نیز مربوط به تیمار عدم کاربرد کود (شاهد) به میزان ۱/۱۸ عدد دانه در نیام بود. در مورد این صفت نیز کودهای نانوذره آهن و روی نسبت کودهای بالک آهن و روی برتری نداشتند (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کودها بر تعداد دانه در نیام نشان داد که با افزایش غلظت در مورد تمامی تیمارهای کودی اعمال شده میزان تاثیر مثبت بر صفت تعداد دانه در نیام افزایش یافت. بیش‌ترین میزان افزایش تعداد دانه در نیام نسبت به تیمار شاهد در کاربرد سه گانه کودهای نانوذره آهن + روی + بور و در غلظت هشت گرم در لیتر (افزایش ۲۶/۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد) و هم‌چنین کاربرد کود بالک روی هشت گرم در لیتر (افزایش ۲۵/۴ درصدی نسبت به تیمار شاهد) حاصل شد. این نتایج با سایر غلظت‌های کودی به غیر از غلظت هشت گرم در لیتر آهن بالک و نانوذره، و کود نانوذره آهن + بور تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۶). مطابق نتایج این پژوهش، Azhand *et al.* (2023) گزارش نمودند که، اعمال تیمارهای محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی آهن و روی، سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در بوته شد.

Table 6. Means comparison of different concentrations of bulk and nanoparticle forms of iron (Fe), zinc (Zn), and boron (B) fertilizers on chickpea grain yield and some related traits in rainfed condition.

Foliar application	Kind of fertilizer	BY (kg ha^{-1})	HI (%)	100GW (g)	PP	SP	SPl	PH (cm)	BP
Control		2065^{efg}	39.4^{bc}	16.1^{gh}	34.3^{d}	1.18^{f}	17.7^{de}	26.5^{h}	3.16^{k}
Fe2		2068^{efg}	39.9^{abc}	34.5^{d}	17.5^{fgh}	1.18^{f}	16.0^{e}	27.2^{h}	3.30^{h-k}
Fe4		2103^{d-g}	40.5^{abc}	34.7^{d}	21.5^{a-h}	1.18^{f}	21.3^{b-e}	28.5^{fgh}	3.33^{h-k}
Fe8		2282^{b-g}	41.3^{abc}	35.4^{cd}	26.3^{a-d}	1.30^{b-e}	27.2^{abc}	29.2^{d-h}	3.70^{d-j}
Zn2		2089^{efg}	42.1^{abc}	34.0^{d}	15.2^{h}	1.23^{c-f}	18.4^{cde}	27.2^{h}	3.20^{jk}
Zn4		2227^{c-g}	41.7^{abc}	35.4^{cd}	20.5^{b-h}	1.23^{c-f}	21.6^{b-e}	27.5^{gh}	3.76^{b-h}
Zn8		2604^{b-g}	38.4^{bc}	36.0^{bac}	26.4^{a-d}	1.40^{abc}	26.0^{a-d}	27.5^{gh}	3.73^{c-i}
B2		1916^{g}	38.7^{bc}	34.0^{d}	15.7^{gh}	1.23^{c-f}	17.5^{de}	26.9^{h}	3.10^{k}
B4		2080^{efg}	39.5^{bc}	34.7^{d}	19.2^{d-h}	1.26^{b-f}	21.1^{b-e}	26.9^{h}	3.23^{i-k}
B8		2202^{c-g}	41.2^{abc}	36.7^{ab}	19.3^{c-h}	1.33^{bcd}	21.1^{b-e}	27.1^{h}	3.30^{h-k}
Fe2 Zn2		2234^{c-g}	46.2^{a}	36.8^{ab}	21.6^{a-h}	1.30^{b-e}	24.1^{b-e}	27.9^{fgh}	3.53^{f-k}
Fe4 Zn4	Nano particle	2760^{b-g}	40.1^{abc}	36.7 ^{ab}	25.6^{a-d}	1.33^{bcd}	29.3^{ab}	31.8^{a-d}	4.13^{a-d}
Fe8 Zn8		2866^{a-e}	41.3^{abc}	39.1 ^{a}	26.4^{a-d}	1.39^{a-d}	30.3^{ab}	33.4^{ab}	4.30^{a}
Fe2 B2		2182^{c-g}	38.5^{bc}	34.7 ^{d}	21.1^{a-h}	1.23^{c-f}	22.4^{b-e}	28.9^{e-h}	3.60^{e-k}
Fe4 B4		2447^{b-g}	41.9^{abc}	37.4^{ab}	23.2^{a-g}	1.29^{b-e}	24.7^{a-e}	31.9^{a-d}	3.86^{a-g}
Fe8 B8		2571^{b-g}	44.9^{ab}	36.7^{ab}	27.1^{ab}	1.32^{b-e}	29.6 ^{ab}	33.8^{ab}	4.10^{a-e}
Zn2 B2		2054^{efg}	40.5^{abc}	36.1^{ab}	20.6^{b-h}	1.22^{c-f}	23.7^{b-e}	30.3^{c-f}	3.96^{a-g}
Zn4 B4		2599^{b-g}	39.5^{bc}	36.7^{ab}	23.5^{a-f}	1.30^{b-e}	27.7^{ab}	32.4^{abc}	3.93^{a-g}
Zn8 B8		2567^{b-g}	42.9^{ab}	36.7^{ab}	26.9^{abc}	1.38^{a-d}	29.3^{ab}	32.4^{abc}	4.26^{ab}
Fe2 Zn2 B2		2358^{b-g}	39.7^{bc}	36.1^{ab}	23.2^{a-g}	1.39^{a-d}	28.6^{ab}	28.9^{e-h}	3.62^{f-k}
Fe4 Zn4 B4		2932^{ab}	42.9^{ab}	37.4^{ab}	26.3^{a-d}	1.41^{abc}	30.0^{ab}	34.0^{a}	4.25^{a-d}
		3287^{a}	42.3^{abc}	38.6^{a}	28.3^{a}	1.49^{a}	33.8^{a}	34.1^{a}	4.35^{a}
Fe2		2116^{efg}	39.8^{bc}	35.4^{cd}	19.9^{b-h}	1.23^{c-f}	22.2^{b-e}	31.3^{b-e}	3.46^{g-k}
Fe4		2510^{b-g}	39.8^{bc}	35.4^{cd}	23.2^{a-g}	1.26^{b-f}	24.2^{b-e}	31.9^{a-d}	3.46^{g-k}
Fe8		2727^{b}	42.3^{abc}	36.8^{ab}	25.8^{a-d}	1.26^{b-f}	28.4^{ab}	32.0^{abc}	3.96^{a-g}
Zn2	Bulk	2107^{efg}	40.5^{abc}	34.4^{d}	18^{e-h}	1.23^{c-f}	21.6^{b-e}	30.2^{c-g}	3.30^{h-k}
Zn4		2854^{ab}	38.6^{c}	36.8^{ab}	22.5^{a-h}	1.28^{b-e}	25.7^{a-d}	31.2^{b-e}	3.8^{a-h}
Zn8		2913^{ab}	41.2^{abc}	36.0^{ab}	25.1^{a-e}	1.48^{a}	28.5^{ab}	33.5^{ab}	4.23^{abc}

BY: biomass yield, HI: harvest index, 100GW: 100 grain weight, PP: number of pod plant^{-1}, SP: number of seed pod^{-1}, SPl: number of seed plant^{-1}, PH: plant height, BP: number of branches in plant, Fe (Zn, B) 2, 4, and 8: iron (zinc, boron) 2, 4, and 8 g l^{-1}. Columns with similar letters are not significantly different (P<0.05) based on Duncan's test at the five percent probability level.

مقایسه کودهای مورد بررسی از نظر تاثیرگذاری بر ارتفاع بوته نخود در شرایط کشت دیم نشان داد، به غیر از کودهای نانوذره آهن، روی و بور، سایر کودها ارتفاع بوته را نسبت به تیمار شاهد (۲۵/۶ سانتی‌متر) به طور معنی‌دار افزایش دادند، اما بین آن‌ها از نظر تاثیر مثبت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در این شرایط از نظر عددی بیش‌ترین افزایش مربوط به تیمار سه‌گانه کودهای نانوذره آهن + روی + بور با ۳۲/۳۹ سانتی‌متر بود (جدول ۵). برخلاف سایر صفات مورد بررسی که تفاوتی از نظر تاثیرگذاری بین کودهای بالک و نانوذره نبود (جدول ۵)، از نظر افزایش ارتفاع بوته کودهای آهن و روی بالک نسبت به کودهای آهن و روی نانوذره برتری داشتند. مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کودها بر ارتفاع بوته نشان داد که با افزایش غلظت‌های کاربردی برای تمامی کودها ارتفاع بوته نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در این شرایط افزایش ارتفاع بوته تحت تاثیر سایر کودها نسبت به کودهای آهن، روی و بور نانوذره به طور معنی‌داری بیش‌تر بود. بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته در شرایط کاربرد سه گانه کودهای نانوذره و در غلظت‌های هشت و چهار گرم در لیتر با میانگین ۳۴/۱ و ۳۴ سانتی‌متر حاصل شد. این میزان ارتفاع دارای تفاوت حدود ۲۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۶). Huang *et al.* (2021) و Hafeez *et al.* (2021) نیز گزارش کردند که ارتفاع گیاه تحت تأثیر کاربرد

کودهای ریز مغذی قرار می‌گیرد. محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی در این شرایط با افزایش سرعت فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها سبب فراهمی بیش‌تر مواد غذایی مورد نیاز برای رشد رویشی و افزایش ارتفاع نخود می‌شوند. Hafeez *et al.* (2021) دلیل ارتفاع بیش‌تر گیاهان در شرایط اعمال تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی را مشارکت این عناصر غذایی در تقسیم سلولی، گسترش سلولی، فعالیت‌های بافت‌های مریستمی و فعالیت‌های فتوسنتزی ذکر نمودند.

کودهای نانوذره دوگانه و سه گانه آهن، روی و بور سبب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های فرعی نسبت به دیگر کودها و تیمار شاهد (۳/۱۴ عدد) شدند، اما تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها از نظر تاثیرگذاری نبود. در این شرایط از نظر عددی کودهای نانوذره آهن + روی + بور و روی + بور بالاترین تعداد شاخه‌های جانبی (۴/۶ عدد یا افزایش ۲۹/۲ درصدی نسبت به شاهد) و تیمار شاهد پایین‌ترین تعداد شاخه‌های جانبی (۳/۱۴ عدد) را داشتند. کودهای نانوذره آهن و روی در ارتباط با افزایش تعداد شاخه‌های جانبی نسبت به کودهای بالک آهن و روی برتری نداشتند (جدول ۵). هم‌چنین با بررسی اثر غلظت‌های مختلف کودها نیز مشخص شد که در تمامی کودها هر چه بر میزان غلظت کاربرد آن‌ها افزوده شد، تعداد شاخه‌های جانبی نیز نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) افزایش یافت. در این شرایط بالاترین افزایش تعداد شاخه‌های جانبی مربوط به غلظت هشت گرم در لیتر کود بالک آهن و روی و فرم ترکیبی دو گانه و سه گانه آهن، روی و بور بود. از نظر عددی بیش‌ترین تعداد شاخه‌های جانبی مربوط به کود نانوذره آهن + روی + بور هشت گرم در لیتر با ۴/۳۵ عدد (افزایش ۳۷/۶ درصدی نسبت به تیمار شاهد) به دست آمد (جدول ۶). برخلاف نتایج این تحقیق که غلظت هشت گرم در لیتر کودها بیش‌ترین اثر را بر تعداد شاخه فرعی داشت، Pirzad *et al.* (2013) گزارش نمودند که بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی در غلظت چهار گرم در لیتر بود. نتایج متفاوت در این شرایط می‌تواند به متفاوت بودن مقدار فرم قابل جذب این عناصر در محلول خاک، رطوبت خاک و یا نیاز متفاوت گیاهان مختلف و یا حتی رقم‌های مختلف گیاهی باشد.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمون خاک و نتایج اعمال تیمارهای کودی، کمبود فرم قابل جذب هر سه عنصر آهن، روی و بور در محلول خاک وجود داشت. غلظت هشت گرم در لیتر سایر کودها نسبت به غلظت‌های دو و چهار گرم در لیتر برتری داشتند. بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار کود نانوذره آهن + روی + بور هشت گرم در لیتر با ۱۳۹۲ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار شاهد (۸۱۴ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. کودهای نانوذره آهن و روی از نظر تاثیر بر عملکرد دانه و اجزاء آن نسبت به فرم بالک آن‌ها برتری معنی‌دار نداشتند. با توجه به گزارشات مختلف مبنی بر مزیت معنی‌دار کودهای نانوذره نسبت به کودهای بالک و از آنجا که این تحقیقات بیش‌تر در محیط آبی و یا آبیاری تکمیلی انجام شده‌اند، بنابراین ممکن است در کشت دیم کمبود رطوبت درون خاک و گیاه، سبب کاهش اثرات مثبت کودهای نانوذره شود. براین اساس پیشنهاد می‌شود، در کشت دیم نخود کاربرد کودهای نانوذره و مقایسه میزان تاثیر آن‌ها با فرم بالک بیش‌تر مورد بررسی قرار گیرد.

سپاس گزاری

شرایط اجرای پژوهش حاضر توسط دانشگاه رازی و شورای ملی نخود ایران فراهم شده است. بدینوسیله از حمایت‌های آن‌ها سپاسگزاری می‌شود.

References

Abdel-Hakim, S.G., Shehata, A.S.A., Moghannem, S.A., Qadri, M., El-Ghany, M.F.A., Abdeldaym, E.A., & Darwish, O.S. (2023). Nanoparticulate fertilizers increase nutrient absorption efficiency and agro-physiological properties of lettuce plant. *Agronomy*, 13(3): 691. https://doi.org/10.3390/agronomy13030691

Ahmadi, L., Ghobadi, M., Saeidi, M., & Ghaderi, J. (2020). The effect of supplemental irrigation, time and methods of Fe fertilizer application on qualitative and quantitative traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.), *Iranian Journal Pulses Research*, 10(2): 119-131. https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.68262 [In Persian]

Alam, P., Kaur Kohli, S., Al Balawi, T., Altalayan, F.H., Alam, P., Ashraf, M., Bhardwaj, R., & Ahmad, P. (2020). Foliar application of 24-Epibrassinolide improves growth, ascorbate-glutathione cycle, and glyoxalase system in brown mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.) under cadmium toxicity. *Plants*, 9(11): 1487. https://doi.org/10.3390/plants9111487

Anonymous, (2024). https://amar.maj.ir/page-amar/FA/65/form/pId3352, 93 pages. [In Persian]

Avila-Quezada, G.D., Ingle, A.P., Golinska, P., & Rai, M. (2022). Strategic applications of nano-fertilizers for sustainable agriculture: benefits and bottlenecks. *Nanotechnology Reviews*, 11(1): 2123-2140. https://doi.org/10.1515/ntrev-2022-0126

Azhand, M., Saeidi, M., Beheshti Ale Agha, A., & Kahrizi, D. (2023). Interaction of iron and zinc fortification and late-season water deficit on yield and fatty acid composition of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 201: 107882. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107882

Bana, R.S., Jat, G.S., Grover, M., Bamboriya, S.D., Singh, D., Bansal, R., Choudhary, A.K., Kumar, V., Laing, A.M., Godara, S., & Bana, R.C. (2022). Foliar nutrient supplementation with micronutrient-embedded fertilizer increases biofortification, soil biological activity and productivity of eggplant. *Scientific Reports*, 12(1): 5146. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09247-0

Beig, B., Niazi, M.B.K., Sher, F., Jahan, Z., Malik, U. S., Khan, M.D., Americo Pinheiro, J.H.P., & Vo, D.V.N. (2022). Nanotechnology-based controlled release of sustainable fertilizers. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20: 2709–2726. https://doi.org/10.1007/s10311-022-01409-w

Bhuriya, K.R., Shinde, R.D., Raval, C.H., & Chauhan, A.H. (2023). Effect of sulphur and iron on growth, yield and quality of chickpea. *The Pharma Innovation Journal*, 12(5): 2713-2715. https://doi.org/10.33545/2618060X.2021.v4.i2a.141

Boukid, F. (2021). Chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein as a prospective plant-based ingredient: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(11): 5435-5444. https://doi.org/10.1111/ijfs.15046

Brdar-Jokanovic, M. (2020). Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Science*, 21(4): 1424-1430. https://doi.org/10.3390/ijms21041424

Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Shukla, A. K., Verma, V., Behera, S. K., Singh, P., Alotaibi, S.S., Gaber, A. & Hossain, A. (2021). Comparative efficiency of mineral, chelated and nano forms of zinc and iron for improvement of zinc and iron in chickpea (*Cicer arietinum* L.) through biofortification. *Agronomy*, 11(12): 2436. https://doi.org/10.3390/agronomy11122436

Dhaliwal, S.S., Sharma, V., Shukla, A.K., Verma, V., Behera, S.K., Singh, P., Alotaibi, S.S., Gaber, A., & Hossain, A. (2021). Comparative efficiency of mineral, chelated and nano forms of Zinc and Iron for improvement of Zinc and Iron in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) through biofortification. *Agronomy*, 11: 2436. https://doi.org/10.3390/agronomy11122436

Drostkar, E., Talebi, R., & Kanouni, H. (2016). Foliar application of Fe, Zn and NPK nano-fertilizers on seed yield and morphological traits in chickpea under rainfed condition. *Research Letters in Ecology*, 4(1): 221-228.

Elahi, S., Nabizadeh, E., Majidi, A., & Poryousef Miandoab, M. (2022). Effect of glycine betaine, boron and zinc on yield and nutrient uptake of chickpea under rainfed conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 10(2): 165-182. https://doi.org/10.22092/IDAJ.2022.355434.346 [In Persian]

El-Saadony, M.T., ALmoshadak, A.S., Shafi, M.E., Albaqami, N.M., Saad, A.M., El-Tahan, A.M., Desoky, E.M., Elnahal, A.S.M., Almakas, A., Abd El-Mageed, T.A., Taha, A.E., Elrys, A.S., & Helmy, A.M. (2021). Vital roles of sustainable nano-fertilizers in improving plant quality and quantity-an updated review. *Saudi Journal of Biological Science*, 28(12): 7349-7359. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.032

F.A.O. (2023). *Faostat-agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from http://www.fao.org/site/408.

F.A.O.STAT. (2021). *Rome.* Retrieved from https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL (accessed on 17 December 2021).

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

Falaknaz, M., Farokhian, S., & Kahrizi, D. (2022). Effect of foliar application of micronutrients on quantitative and qualitative characteristics of soybean (*Glycine max* L.), *Agrotechniques in Industrial Crops*, 2(2): 79-86. https://doi.org/10.22126/atic.2022.7913.1059 [In Persian]

Hafeez, M.B., Ramzan, Y., Khan, S., Ibrar, D., Bashir, S., Zahra, N., Rashid, N., Nadeem, M., Rahman, S. U., Shair, H., Ahmad, J., Hussain, M., Irshad, S., Alfagham, A., & Diao, Z. (2021). Application of zinc and iron-based fertilizers improves the growth attributes, productivity, and grain quality of two wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. *Frontiers in Nutrition*, 8: 779595. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.779595

Hidoto, L., Worku, W., Mohammed, H., & Bunyamin, T. (2017). Effects of zinc application strategy on zinc content and productivity of chickpea grown under zinc deficient soils. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(1): 112-126. https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000009

Huang, W.T., Xie, Y.Z., Chen, X.F., Zhang, J., Chen, H.H., Ye, X., Guo, J., Yang, L.T., & Chen, L.S. (2021). Growth, mineral nutrients, photosynthesis and related physiological parameters of Citrus in response to nitrogen deficiency. *Agronomy*, 11: 1859. https://doi.org/10.3390/agronomy11091859

Joshi, P., Yasin, M., & 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: 36–141. https://doi.org/10.18782/2320-7051.6231

Kamaraki, H., & Galavi, M. (2012). Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 4(3): 201-206. https://doi.org/10.22067/JAG.V4I3.15308 [In Persian]

Kaur Grewal, S., Sharma, K.P., Bharadwaj, R.D., Hegde, V., Tripathi, S., Singh, S., Kumar Jain, P., Kumar Agrawal, P., & Mondal, B. (2020). Understanding genotypic variation and identification of promising genotypes for iron and zinc content in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 88: 103458. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103458

Kerdtoob, S., Chanthasena, P., Limphirat, W., Penkhrue, W., Ganta, P., Srisakvarangkool, W., Yasawong, M., & Nantapong, N. (2024). Streptomyces monashensis MSK03-mediated synthesis of gold nanoparticles: characterization and antibacterial activity. *RSC Advances*, 14(7): 4778-4787. https://doi.org/10.1039/D3RA07555A

Malakouti, M.J. & Tehrani, M.H., (2005). *Role of micronutrients on the yield and quality of agricultural crops and enhancing humn health: Micro-nutrients with macro-effects*. Third edition (completely revised). Tarbiat Modares Univ. Pub. No.89. Pp. 398. Iran. [In Persian]

Math, G., Vijayakumar, A.G., & Balol, G. (2022). Application of zinc and iron for higher productivity and agronomic use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*) varieties. *Indian Journal of Agronomy*, 67(4): 425-430. https://doi.org/10.59797/ija.v67i4.149

Moradi, M., & 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): 207-214. https://doi.org/10.29252/jcb.10.26.207 [In Persian]

Naorem, A., Jayaraman, S., Dang, Y.P., Dalal, R.C., Sinha, N.K., Rao, C.S., & Patra, A.K. (2023). Soil constraints in an arid environment-challenges, prospects, and implications. *Agronomy*, 13: 220-231. https://doi.org/10.3390/agronomy13010220

Nongbet, A., Mishra, A.K., Mohanta, Y.K., Mahanta, S., Ray, M.K., Khan, M., Baek, K.H., & Chakrabartty, I. (2022). Nano fertilizers: a smart and sustainable attribute to modern agriculture. *Plants (Basel)*, 11(19): 2587. https://doi.org/10.3390/plants11192587

Pal, V., Singh, G., & Dhaliwal, S. (2019). Yield enhancement and biofortification of chickpea *Cicer arietinum* L. grain with iron and zinc through foliar application of ferrous sulfate and urea. *Journal of Plant Nutrition*, 42: 1789–1802. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1648675

Pirzad, A.R., Tousi, P., & Darvishzadeh, R. (2013). Effect of Fe and Zn foliar application on plant characteristics and essential oil content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15(1): 12-23. https://doi.org/20.1001.1.15625540.1392.15.1.2.0 [In Persian]

Polar, E. (1975). Zinc in pollen and its incorporation into seeds. *Planta*, 123, 97–103. https://doi.org/10.1007/BF00388064

Rathod, S., Channakeshava, S., Basavaraja, B., & Shashidhara, K.S. (2020). Effect of soil and foliar application of zinc and Boron on growth, yield and micro nutrient uptake of Chickpea. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4): 3356-3360. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i214066

Roy, P.D., Narwal, R.P., Malik, R.S., Saha, B.N., & Kumar, S. (2013). Impact of zinc application methods on greengram productivity and grain zinc fortification. *Journal of Environmental Biology*, 35: 851-854.

Sabaghnia, N., & Janmohammadi, M. (2023). Influence of some nano-fertilizers on chickpeas under three irrigation strategies. *Plant Nano Biology*, 4: 100037. https://doi.org/10.1016/j.plana.2023.100037

Saeed, A., Sabaghpour, S.H., Farayedi, Y., Kanouni, H., Sadeghzadeh Ahari, D., Kamel, M., Nematifard, M., Shahab, M.R., Mamudi, A.A., shobeiri, S. S., Mostafayi, H., Jahangiri, A., Mahmudi, F., Mahdiyeh, M., pezeshkpour, P., Seyedi, F., Karimizadeh, R., Armeiun, M., Abdolazimzadeh, R., Akbari Kukia, A., Azizi, A., & Seyed Mahmudian, E. (2017). Saeed, a new chickpea variety, suitable for autumn-entezari planting in template and cold regions at dryland conditions. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 6(2): 149-164. https://doi.org/10.22092/rafhc.2018.109977.1067 [In Persian]

Sathiyamurthy, V.A., Shanmugasundaram, T., Rajasree, V., & Arumugam, T. (2017). Effect of foliar application of micronutrients on growth, yield and economics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Madras Agricultural Journal*, 104(4-6):188-193. https://doi.org/10.29321/MAJ.04.000430

Schmidt, W., Thomine, S., & Buckhout, T.J. (2020). Iron nutrition and interactions in plants. *Frontier in Plant Science*, 10: 1670. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01670

Shahgholi, S., Sayfzadeh, S., Hadidi Masouleh, E., Shahsavari, N., & Zakerin, H. (2023). Assessment of zinc, boron, and iron foliar application on wheat yield and yield components under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(9): 1283-1292. https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2141772

Shireen, F., Nawaz, M.A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y., & Bie, Z. (2018). Boron: functions and approaches to enhance Its availability in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Science*, 19(7): 1856-1865. https://doi.org/10.3390/ijms19071856

Soheili Movahhed, S., Khomari, S., Sheikhzadeh, P., & Alizadeh, B. (2019). Effects of drought stress and foliar Application of boron and zinc on yield and some agronomic and morphological traits of spring type safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal Of Agroecology*, 11(4): 1275-1291. https://doi.org/10.22067/JAG.V11I4.72028 [In Persian]

Thudi, M., Chitikineni, A., Liu, X., He, W., Roorkiwal, M., Yang, W., Jian, J., Doddamani, D., Gaur, P., Rathore, A., Samineni, S., Saxena, R.K., Xu, D., Singh, N.P., Chaturvedi, S.K., Zhang, G., Wang, J., Datta, S. K., Xu, X., & Varshney, R.K. (2016). Recent breeding programs enhanced genetic diversity in both desi and kabuli varieties of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Science Report*, 6: 38636-38642. https://doi.org/10.1038/srep38636

Ullah, A., Farooq, M., Rehman, A., Hussain, M., & Siddique Kadambot, H.M. (2020). Zinc nutrition in chickpea (*Cicer arietinum*): a review. *Crop and Pasture Science*, 71: 199-218. https://doi.org/10.1071/CP19357

Wang, R., Mi, K., Yuan, X., Chen, J., Pu, J., Shi, X., Yang, Y., Zhang, H., & Zhang, H. (2023). Zinc oxide nanoparticles foliar application effectively enhanced zinc and aroma content in rice (*Oryza sativa* L.) grains. *Rice*, 16(1): 36. https://doi.org/10.1186/s12284-023-00653-0

Waraich, E.A., Ahmad, R., Halim, A., & Aziz, T. (2012). Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *Journal of Soil Sciences and Plant Nutrition*, 12: 221–244. https://doi.org/10.4067/S0718-95162012000200003

Weber, E., & Bleiholder, H. (1990). Erläuterungen zu den BBCH-dezimal-codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-bohne, Sonnenblume und Erbse-mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen*, 42(9): 308-321.