Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2026, Vol 9, No 18(2), Pages 157-172

doi:10.22034/iuvs.2024.2029142.1365 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Enhanced yield and nutritional quality of pea seeds (*Pisum sativum* L.) through foliar application of zinc and manganese

Mahmoud Khueini[1], Taher Barzegar[2], Fatemeh Nekounam[*3]

1. Former Master's student, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2. Associate Prof., Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3. Assistant Prof., Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

[*]**Corresponding author:** nekounam@znu.ac.ir

(**Received:** 14 May 2024 **Revised:** 02 July 2024 **Accepted:** 10 August 2024)

Extended Abstract

1. **Introduction:** Zinc (Zn) and manganese (Mn) are essential micronutrients required to enhance crop growth and yield, and to balance these nutrients in plants. The essentiality of Zn and Mn for plants has been well established, as both are essential micronutrients involved in a number of essential functions. Zn, an essential micronutrient, plays a vital role in various processes such as carbohydrate, auxin, and nucleic acid metabolism, protein synthesis, membrane stabilization, and in the detoxification of highly active superoxide radicals. Soils in many arid and semi-arid regions of Iran, due to high pH and low organic matter, are faced with Zn and Mn deficiencies. Pea, a member of the Fabaceae family, is one of the most widely used winter vegetables. Pea has high nutritional value, having proteins (21–32%) and starch (37– 49%) content, water-soluble fibers, vitamins, minerals, and phytochemicals. Therefore, we carried out the present study to observe the effect of foliar spray of Zn and Mn on the yield and quality of pea seeds.
2. **Materials and Methods:** To investigate the effect of foliar application of Zn and Mn on growth, yield, and quality of pea (Pisum sativum cv. Stardust), a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted in Reasech field of university of Zanjan during 2023. Experimental treatments included three levels of Zn (0, 2, and 4%, Zinc sulfate) and three levels of Mn (0, 2, and 4%, manganese sulfate). Seeds pea were sown on 11 Marc, 2024, with 2.5 cm, 25 cm spacing within row and 40 cm spacing between rows. Different concentrations of zinc sulfate (Zn; 0, 2, and 4 %) and manganese sulfate (Mn; 0, 2, and 4 %) were sprayed on the plant at the 5–6th true leaf and flowering stages using a mechanical mist sprayer. Irrigation was calculated based on actual evapotranspiration (ETc%) rates. All necessary management practices, such as weed control, were performed according to the recommended package of practices during crop growth. During the growth period and after crop harvest, the plant height, chlorophyll index, pods number/plant, pod fresh weight, seeds number/pod, seed fresh weight, and yield, total soluble solids (TSS), and protein contents, the amount of zinc and manganese elements in seeds were evaluated.
3. **Results and Discussion:** ZnSO4 and MnSO4 at different concentrations resulted in a significant increase in growth, yield, and quality of pea seeds as compared to control plants. Provitamin studies suggested that the depression in plant growth was due to a decrease in auxin concentration in Zn-deficient plants. The foliar application of Zn and Mn had a significant effect on the number per pod, the weight of seeds per pod, pod fresh weight, chlorophyll index, seed protein content, but had no significant effect on plant height, pod dry weight, pod yield per plant, and total soluble solids content. The pod and seed weight of plants receiving foliar treatments was significantly higher than that of control plants. The highest seeds weight/pod (3.92), seeds number/pod (8.66), pod fresh weight (5.97), and chlorophyll index (87.13) were obtained with the application of Zn 4% and Mn 4%. Numerous research studies have highlighted the roles and importance of Zn and Mn in enhancing crop yield and production. Foliar application of Zn and Mn, compared to control plants, improved the concentration of total protein content of seeds. The decrease in protein concentration in seed control plants might be due to a sharp reduction in RNA polymerase activity, deformation of ribosomes, and enhanced RNase activity in Zn-deficient plants. Also, foliar application of ZnSO4 and MnSO4 resulted in a significant increase in Zn and Mn content in the seeds as compared to control plants, and the highest content of Zn (78.1 mg g-1) and Mn (46.1 mg g-1) was observed in plants treated with 2% Zn and 4% Mn.

4. **Conclusion:** Zinc and Mn are essential micronutrient minerals that are required by pea, an important pulse crop, which can retain and enhance the productivity as well as the nutritional value of the crop through biofortification for higher food quality. The present study clarified that the supplementation of ZnSO4 influenced the yield and quality of pea. The use of ZnSO4 (4%) and MnSO4 (4%) at growth and flowering stages improved the TSS, Zn, Mn, protein content, and grain yield over the control. Thus, the present study demonstrated that biofortification through the foliar application of ZnSO4 and MnSO4 could be considered the most effective treatment for improving food quality parameters and yield of pea.

Keywords: Pod yield, Protein, Total soluble solids, Seed yield.

Citation: Khueini1, M., Barzegar, T. & Nekounam, F. (2026). Enhanced yield and nutritional quality of pea seeds (*Pisum sativum* L.) through foliar application of zinc and manganese. *Journal of Vegetables Sciences*, 18(2), 157-172. doi:10.22034/iuvs.2024.2029142.1365

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال۹ ، دوره ۱۸، شماره۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، صفحات (۱۷۲-۱۵۷)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi:10.22034/iuvs.2024.2029142.1365

افزایش عملکرد و کیفیت غذایی دانه نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) از طریق محلول‌پاشی روی و منگنز

محمود خوئینی، طاهر برزگر[۲]، فاطمه نکونام*[۳]

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران.

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران.

***نویسنده مسئول:** nekounam@znu.ac.ir

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۳/۰۲/۲۵ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۴/۱۲ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۵/۲۰)

چکیده

روی و منگنز از جمله ریزمغذی‌های ضروری مهم در رشد و نمو گیاهان هستند. در این مطالعه، تاثیر محلول‌پاشی سولفات روی (۰، ۲ و ۴ درصد) و سولفات منگنز (۰، ۲ و ۴ درصد) بر رشد، عملکرد و کیفیت دانه نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.)، در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی تیمارهای روی و منگنز به‌ویژه در سطح ۴ درصد سبب بهبود خصوصیات کمی و کیفی نخودفرنگی گردید. اثر برهمکنش محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز، بر تعداد دانه در غلاف، وزن دانه در غلاف، وزن تر غلاف، شاخص کلروفیل، پروتئین دانه و محتوای روی و منگنز معنی‌دار بود ولی بر طول بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن خشک غلاف، عملکرد غلاف در بوته و مواد جامد محلول اثر معنی‌داری نشان نداد. بیشترین تعداد دانه در غلاف (۸/۶)، وزن دانه در غلاف (۳/۹ گرم)، وزن تر غلاف (۵/۹ گرم)، شاخص کلروفیل (۸۷/۱)، پروتئین دانه (۲/۶ درصد) با کاربرد تیمار سولفات روی ۴ درصد + سولفات منگنز ۴ درصد به‌دست آمد و بیشترین محتوای روی (۷۸/۲ mg g^{-1}FW) و منگنز (۴۶/۴ mg g^{-1}FW) دانه نخود فرنگی با کاربرد تیمار سولفات روی ۲ درصد و سولفات منگنز ۴ درصد حاصل شد. با توجه به نتایج، کاربرد کودهای سولفات روی و منگنز ۴ درصد جهت بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های کیفی در گیاه نخود فرنگی پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: پروتئین، مواد جامد محلول، عملکرد دانه، عملکرد غلاف.

استناد: خوئینی، م.، برزگر، ط.، نکونام، ف. (۱۴۰۴). افزایش عملکرد و کیفیت غذایی دانه نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) از طریق محلول‌پاشی روی و منگنز. علوم سبزی‌ها، ۱۸(۲)، ۱۷۲-۱۵۷.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) یکی از سبزی-های دانه‌ای یک‌ساله متعلق به خانواده بقولات (Fabaceae) است که در بسیاری از کشورهای جهان و همچنین در مناطق مختلف ایران کشت می‌شود. نخودفرنگی به‌دلیل دارا بودن مقادیر بالایی از پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و انواع ویتامین‌های مفید مورد نیاز برای سلامت انسان، فسفر، کلسیم و آمینو اسیدها یک محصول کشاورزی مهم به شمار می‌آید (Bhat *et al*., 2013).

حلالیت کم عناصر در pH قلیایی، وجود یون-های کربنات و بی‌کربنات در آب آبیاری و دریافت زیاد فسفر باعث کمبود ریز مغذی‌ها به ویژه روی، منگنز، آهن و بور شده است. به دلیل این کمبودها، متوسط عملکرد در محصولات مختلف به‌طور کلی پایین است (Kumar *et al*., 2022). عواملی مانند pH خاک، میزان آهک و مقدار مواد آلی بر در دسترس بودن عناصر غذایی تأثیر می گذارد (Öktüren Asri, 2022). محلول‌پاشی مشکل جذب محدود عناصر غذایی در خاک را برطرف می-کند.

محلول پاشی عناصر روی، منگنز و آهن ممکن است موثرتر از کاربرد خاکی آنها باشد، زیرا در کاربرد خاکی، ذرات مواد مغذی را جذب می‌کنند و باعث می‌شود آنها برای سیستم ریشه کمتر در دسترس باشند (Roosta *et al*., 2013). منگنز و روی از جمله عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان هستند. کمبود آنها عملکرد محصول را به شدت کاهش می-دهد و حتی گاهی باعث از بین رفتن آنها می‌شود. منگنز نقش مهمی در تعدادی از فعالیت‌های سلولی مانند پایداری ساختار پروتئین، ساختار کلروپلاست و فتوسنتز دارد و از سلول‌ها در برابر گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کند و کمبود آن ممکن است از رشد و نمو گیاهان جلوگیری کند (Socha & Guerinot, 2014). در بین ریزمغذی‌ها، کمبود روی شایع‌ترین مورد است و این عنصر مهم‌ترین ریزمغذی برای رشد و تولیدمثل محصول است و نقش مهمی در جلوگیری از اکسیداسیون اجزای سلول مانند کلروفیل دارد. همچنین نقش مهمی در تنظیم متابولیسم، حفظ فتوسنتز و تنظیم سنتز کربوهیدرات، روابط آبی گیاه و هدایت روزنه‌ای دارد (Dawadi *et al*., 2022). کمبود روی در بین محصولات کشاورزی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک جهان گسترده است و گزارش شده است که رشد و عملکرد محصولات در این مناطق به شدت کاهش می‌یابد (Younas *et al*., 2022). خاک در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک ایران به‌دلیل pH بالا و مواد آلی کم با کمبود روی و منگنز مواجه است. گیاهان خانواده بقولات از جمله نخود فرنگی عمدتا به کمبود عناصر ریزمغذی حساس هستند (Rathod *et al*., 2020).

بررسی‌ها نشان داد که محلول‌پاشی مولیبدن و روی در مرحله رشد رویشی در گیاه نخود سبب افزایش عملکرد زیست توده و عملکرد دانه در غلاف گردید (Ali, 2019). کاربرد روی و منگنز در دو رقم برنج، شاخص‌های رشدی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را تحت تنش شوری بهبود بخشیده و به این ترتیب با افزایش پایداری غشای سلولی و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن منجر به افزایش زیست توده و عملکرد برنج گردید. همچنین طول خوشه، تعداد شاخه در خوشه، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه نیز با کاربرد روی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Nadeem *et al*., 2020). پژوهشی با هدف بررسی اثر کاربرد خاکی و محلول‌پاشی سولفات‌روی و اوره بر خصوصیات همزیستی، پارامترهای رشد، ویژگی‌های عملکرد دانه در نخود انجام شد و حداکثر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌ها، محتوای کلروفیل، تعداد و وزن خشک گره‌ها و عملکرد دانه با کاربرد خاکی

۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی در کاشت و محلول‌پاشی روی ۰/۵ درصد حاصل شد (Pal *et al.*, 2020).

با توجه به اینکه عناصر ریزمغذی نقش مهمی در تغذیه، افزایش رشد، عملکرد و مقاومت گیاهان در برابر بیماری‌ها و تنش‌های محیطی دارد، لذا پژوهش حاضر به‌منظور بررسی محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز بر رشد، عملکرد و کیفیت دانه نخود فرنگی در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار و تعیین تغذیه بهینه اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح سولفات روی (۰، ۲، ۴ درصد) و منگنز در سه سطح (۰، ۲، ۴ درصد) می‌باشد. پس از آماده شدن زمین، بذور نخودفرنگی (*Pisum sativum* cv. Stardust) در ۲۱ اسفند ۱۴۰۱ به‌صورت ردیفی در عمق ۲/۵ سانتی‌متر کشت شدند. فاصله بین ردیف‌های کشت ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف و ۳۶ بوته بود. آبیاری از اواسط فروردین به‌صورت سیستم نواری– قطره‌ای با توجه به شرایط آب و هوایی هر دو تا چهار روز یک‌بار صورت گرفت. کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی در طول دوره رشد انجام شد. محلول‌پاشی سطوح مختلف سولفات روی و منگنز در دو مرحله رویشی (۵-۶ برگ حقیقی) و گل‌دهی انجام شد. جدول ۱ خصوصیات خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) محل اجرای آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical characteristics of experimental soil.

بافت خاک Soil Texture	ماده آلی Organic matter (%)	پتاسیم K (g kg^{-1})	سدیم Na (g kg^{-1})	کلسیم Ca (g kg^{-1})	نیتروژن N (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	اسیدیته pH
لومی رسی Clay Loam	0.94	0.2	0.13	0.12	0.07	1.49	7.4

صفات مورد ارزیابی

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی در هر واحد آزمایشی انتخاب شد و میانگین ارتفاع بوته برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شدند. برداشت محصول از اواسط خرداد در چهار مرحله (زمانی‌که غلاف‌ها کاملاً پر شده‌اند و دانه‌ها هنوز نرم و نارس هستند) با فاصله حدود سه روز انجام شد. غلاف‌ها در ۱۰ بوته در هر کرت بعد از برداشت شمارش شد و میانگین تعداد غلاف در بوته بدست آمد. میانگین وزن غلاف به گرم ثبت شد. از هر واحد آزمایشی ۲۰ غلاف به‌صورت تصادفی انتخاب و تعداد دانه در غلاف‌ها شمارش و میانگین تعداد دانه در غلاف ثبت شد.

شاخص کلروفیل برگ، ۱۰ روز قبل از برداشت با دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD 502 PLUS، کمپانی Minotela) اندازه‌گیری شد.

برای تعیین محتوای مواد جامد محلول دانه از دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی مدل ATC-20E, ATago Japanاستفاده شد و میزان مواد جامد محلول بر حسب درصد بریکس بیان شد.

برای ارزیابی پروتئین دانه، یک گرم از دانه نخود فرنگی در ۳ میلی‌لیتر از بافر فسفات پتاسیم ۵۰

میلی‌مولار (pH=7/8) حاوی ۰/۲ میلی‌مولار EDTA و ۰/۲ درصد پلی‌وینیل‌پیرولیدین همگن شد. نمونه‌ها با ۱۲۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از محلول رویی جدا و به آن ۱ میلی‌لیتر بردفورد اضافه شد و بعد از ۲ دقیقه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد. از آلبومن گاوی برای رسم منحنی استاندارد تعیین غلظت پروتئین‌ها استفاده گردید. مقدار پروتئین نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد (Bradford, 1976).

محتوای عناصر منگنز و روی در دانه به روش هضم با اسید سولفوسالیسیلیک با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Perkinelmere2380 اندازه‌گیری شد (Nassar & El-Sahhar, 1998).

آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱، مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

با توجه به جدول مقایسه میانگین، محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز رشد بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند. بیشترین طول بوته با کاربرد روی ۴ درصد (۵۱/۹ سانتی‌متر) و منگنز ۴ درصد (۵۲/۶ سانتی‌متر) به‌دست آمد. نتایج نشان داد که افزایش سطوح روی و منگنز به‌ترتیب باعث افزایش ۱۲ و ۱۱ درصدی طول بوته نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۳).

عنصر روی نقش مهمی در بیوسنتز اکسین به‌ویژه ایندول‌استیک اسید دارد و از آنجایی‌که هورمون اکسین همانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش عمده‌ای در کاهش غلظت پراکسید هیدروژن در سلول‌های گیاهی دارد لذا افزایش طول بوته نخود فرنگی با کاربرد روی را می‌توان به نقش اکسین در تنظیم چیرگی انتهایی نسبت داد زیرا اکسین موجود در جوانه انتهایی از رشد جوانه‌های جانبی جلوگیری می‌کند (Umair Hassan *et al*., 2020). گزارش شده است که کاربرد منگنز، ارتفاع بوته و تولید ماده خشک را در گیاهان ذرت و سورگوم افزایش داد (Oliveira *et al*., 2020) که می‌توان در ارتباط با نقش حیاتی منگنز در تقسیم سلولی، تمایز و رشد رویشی و افزایش فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها و اسیدهای آمینه دانست (Hoque *et al*., 2021). افزایش طول بوته با کاربرد روی و منگنز در نخود (Rathod *et al*., 2020) و ذرت (Md Sarwar *et al*., 2016) گزارش شده است.

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج نشان داد که کاربرد سولفات روی و منگنز به‌طور معنی‌داری تعداد غلاف در بوته را افزایش دادند، اگرچه بین سطوح ۲ و ۴ درصد عنصر روی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی تعداد غلاف در بوته را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۲). محلول‌پاشی با منگنز نیز تعداد غلاف در بوته را افزایش داد و در گیاهان تیمار شده با منگنز ۴ درصد، افزایش قابل توجه تعداد غلاف در بوته (۸۶/۲ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۲). همچنین نتایج نشان دادکه، بیشترین تعداد دانه در غلاف با کاربرد توام سولفات روی و منگنز ۴ درصد و کمترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد. بین تیمارهای جداگانه سولفات روی و منگنز ۲ و ۴ درصد و کاربرد توام آن با سولفات منگنز ۲ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. از نتایج به‌دست آمده می‌توان استنباط کرد که سولفات منگنز ۴ درصد در افزایش تعداد دانه تاثیر بیشتری داشت، هرچند که سایر تیمارها نیز تعداد دانه را افزایش دادند (شکل ۱).

طبق نتایج، کاربرد ترکیبی سولفات روی و منگنز ۴ درصد، بیشترین تاثیر را در افزایش وزن دانه در غلاف نخود فرنگی نسبت به سایر تیمارها داشت (شکل ۲). همچنین بین تیمارهای روی ۲ و ۴ درصد جداگانه و ترکیبی با منگنز ۲ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی با افزایش سطوح منگنز، وزن دانه در غلاف به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت که نشان می‌دهد کاربرد منگنز در گیاه موثرتر از کاربرد روی بوده است (شکل ۲).

محلول‌پاشی سولفات روی و منگنز، وزن تر غلاف نخودفرنگی را افزایش دادند. بیشترین وزن تر غلاف با کاربرد ترکیبی سولفات روی و منگنز ۴ درصد با افزایش ۳۲ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد به‌دست آمد. بر اساس نتایج، بین تیمارهای سولفات روی ۲ و ۴ درصد جداگانه و ترکیبی با منگنز ۲ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی با افزایش غلظت منگنز افزایش معنی‌داری در وزن تر غلاف حاصل شد (شکل ۳). محلول‌پاشی منگنز ۴ درصد منجر به افزایش قابل‌توجهی در وزن خشک غلاف نسبت به تیمار شاهد گردید ولی سطوح پایین آن تاثیری بر وزن خشک غلاف نخودفرنگی نداشت (جدول ۲). طبق نتایج حاصل از مقایسه میانگین، بیشترین عملکرد غلاف در بوته با کاربرد جداگانه منگنز ۴ درصد (۱۱۶/۳۸ گرم) و روی ۴ درصد (۹۰/۲۱ گرم) به‌دست آمد (جدول ۲) که به ترتیب باعث افزایش ۶۳/۴ و ۲۷ درصدی عملکرد غلاف در بوته نسبت به تیمار شاهد شدند.

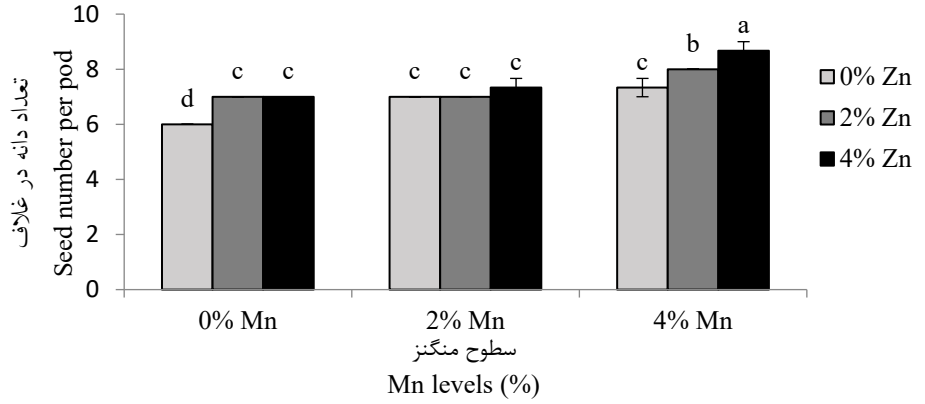
جدول ۲- اثر محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز بر رشد، عملکرد و محتوای مواد جامد کل نخود فرنگی

Table 2. The effect of Zn and Mn foliar application on plant length, yield and total soluble solid content of pea.

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant length (cm)	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	عملکرد غلاف در بوته Pod yield per plant (g)	وزن خشک غلاف Pod dry weight (g)	مواد جامد محلول کل Total soluble solid (°B)
سطوح سولفات روی, (%) Zinc sulfate levels					
0	48.3 b	14.0 b	71.07 c	0.7 c	14.3 b
2	50.1 a	15.6 a	83.1 b	0.8 b	15.0 a
4	51.9 a	16.5 a	90.2 a	0.9 a	15.3 a
سطوح سولفات منگنز، (%) Manganese sulfate levels					
0	47.0 c	10.9 c	51.5 c	0.8 b	13.6 c
2	50.0 b	14.8 b	76.6 b	0.8 b	14.7 b
4	52.6 a	20.3 a	116.1 a	0.9a	16.3 a

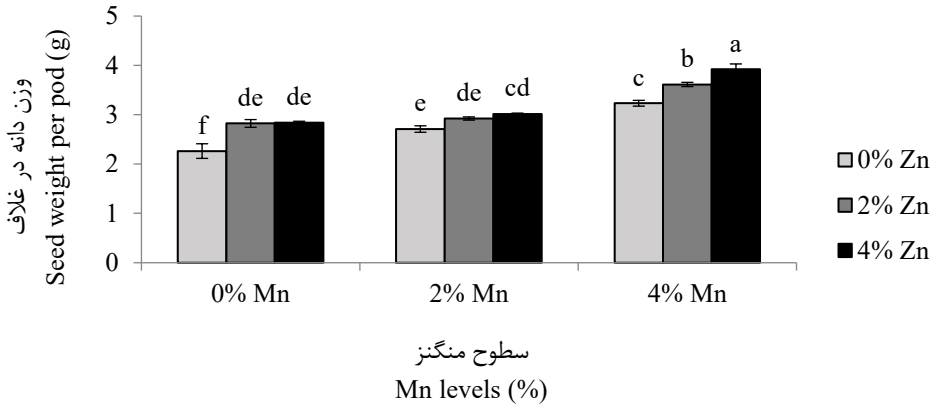
میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5 % probability level



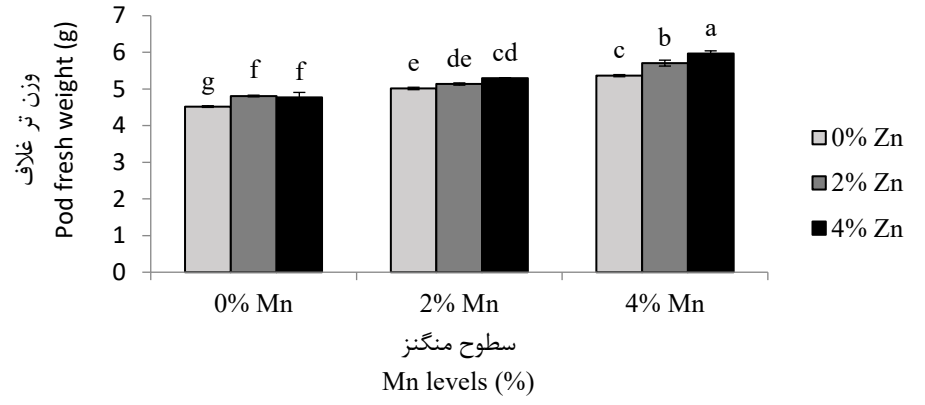
شکل ۱- اثر محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز بر تعداد دانه در غلاف نخود فرنگی. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

Figure 1. Effect of Zn and Mn foliar application on seed number per pod of green pea. Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5 % probability level.



شکل ۲- اثر محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز بر وزن دانه در غلاف نخود فرنگی. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

Figure 2. Effect of Zn and Mn foliar application on seed weight per pod of green pea. Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5 % probability level.



شکل ۳- اثر محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز بر وزن تر غلاف نخود فرنگی. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

Figure 3. Effect of Zn and Mn Foliar Application on Pod Fresh Weight of Green Peas. Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5 % probability level.

روی در تشکیل اسید ایندول‌استیک دخالت و رشد گیاه را تنظیم می‌کند. به‌علاوه این عنصر باعث فعال شدن بسیاری از آنزیم‌ها می‌شود به‌طوریکه برای سنتز کلروفیل و تشکیل کربوهیدرات‌ها لازم و ضروری است (Ma *et al*., 2017). تغذیه گیاه با روی به‌دلیل افزایش ذخیره هیدروکربن دانه گرده، موجب افزایش طول عمر و طول دوره گرده افشانی شده که در نهایت به افزایش تعداد دانه در بوته منجر می‌شود (Ebrahimi *et al*., 2014). همچنین ثابت شده که ریزمغذی‌ها به‌ویژه روی و منگنز با افزایش فتوسنتز و شرکت در مسیر سنتز هیدرات‌های کربن سبب افزایش مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Rathod *et al*., 2020) که با یافته‌های گزارش شده در نخود فرنگی همخوانی دارد. گزارش شد که تعداد غلاف‌ها و بذرهای تولید شده در نخود فرنگی تحت کمبود روی به طور معنی‌داری کم و کوچکتر از دانه‌های تولید شده توسط گیاهان شاهد و محلول‌پاشی شده با عنصر روی بود (Pandey *et al*., 2013). در آزمایشی روی لوبیا سبز، استفاده از عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز باعث افزایش تعداد غلاف در بوته گردید ولی تیمار روی موثرتر از سایر عناصر ریزمغذی بوده و به‌طور قابل توجهی تعداد برگ، طول و قطر غلاف و تعداد غلاف در بوته را افزایش داد (Marzouk *et al*., 2019).

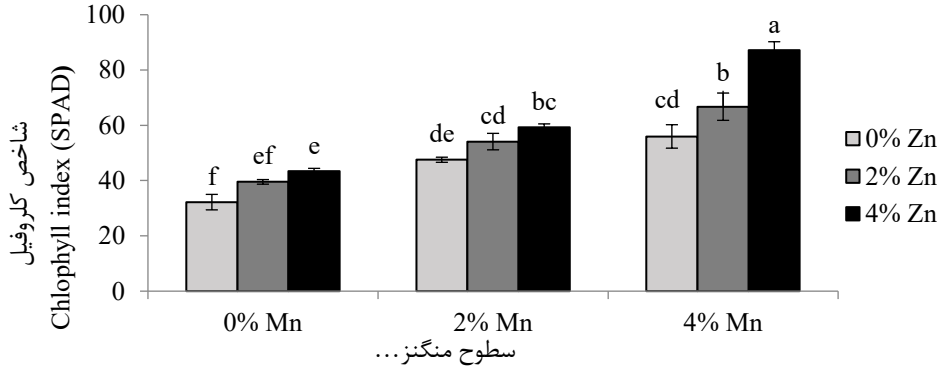
در مطالعات پیشین گزارش شده است که محلول‌پاشی روی و منگنز در سه زمان قبل از گلدهی، ۵۰ درصد گلدهی و پس از گلدهی، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف ارقام مختلف نخود را افزایش دادند (Kobraee, 2019) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. این اثر مثبت ریزمغذی‌های روی و منگنز می‌تواند به‌دلیل کاهش ناباروری و سقط گل باشد و به این ترتیب منجر به افزایش قابل توجه دانه‌بندی و عملکرد می‌گردد (Ullah *et al*., 2020a). رفع کمبود روی در شروع گلدهی، اثرات منفی ناشی از کمبود روی را بر باروری دانه گرده و تولید دانه کاهش می‌دهد و باعث افزایش تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و قدرت حیات بذر می‌شود (Pandey *et al*., 2006).

همسو با نتایج این پژوهش گزارش شد که در نخود با کاربرد روی و منگنز، صفات وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک افزایش یافت که می‌تواند به‌دلیل ایجاد تعادل بین عناصر غذایی در خاک و گیاه باشد که تأثیر مثبتی بر رشد و تولید محصول دارد (Kobraee, 2019). تاثیر مثبت منگنز در عملکرد دانه احتمالا به‌دلیل نقش منگنز در تحریک رشد و تقسیم سلولی بوده که دانه را به یک مخزن قوی تبدیل کرده و در نتیجه با دریافت مواد فتوسنتزی بیشتر، مقادیر ماده خشک بیشتری در دانه ذخیره می‌کند (Farzadfar *et al*., 2017). تحقیقات نشان داده است که محلول‌پاشی با عناصر آهن، روی و منگنز، وزن هزار دانه شنبلیله را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Mohammadzadeh Tottounchi and Amirinia, 2016). همچنین افزایش وزن غلاف با کاربرد روی و منگنز در نخود گزارش شده است (Dhaliwal *et al*., 2021). همانطور که نتایج نشان می‌دهد کاربرد برگی روی و منگنز با افزایش تعداد غلاف در بوته، وزن غلاف و دانه و تعداد دانه در غلاف منجر به افزایش عملکرد کل نخودفرنگی شدند. افزایش عملکرد با محلول-پاشی ریزمغذی‌ها به‌ویژه روی و منگنز دلایل مختلفی می‌تواند داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فسفواینول-پیرووات‌کربوکسیلاز و ریبولوزبی‌فسفات‌کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور این عناصر اشاره کرد (Song *et al*., 2015). Umair Hassan

و همکاران (۲۰۲۰)، این افزایش در عملکرد را به بهبود پایداری غشاء، افزایش سنتز هورمون‌های اکسین از جمله ایندول استیک اسید و افزایش فرآیند فتوسنتزی و تولید آسمیلات‌ها نسبت دادند.

شاخص کلروفیل

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ریزمغذی‌های روی و منگنز منجر به افزایش معنی‌داری در میزان شاخص کلروفیل گردید (شکل ۴). بر اساس نتایج، با محلول‌پاشی ترکیبی سولفات روی و منگنز ۴ درصد، بالاترین شاخص کلروفیل (۸۷/۱) مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد ۱۷۰ درصد افزایش نشان می‌دهد. همچنین طبق نتایج حاصل، بین تیمار سولفات منگنز ۴ درصد و تیمار ترکیبی سولفات روی ۲ و ۴ درصد با سولفات منگنز ۲ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴).



شکل ۴- اثر محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز بر شاخص کلروفیل برگ نخود فرنگی. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

Figure 4. Effect of Zn and Mn foliar application on leaf chlorophyll index of green pea. Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5 % probability level.

این نتایج نشان داد که منگنز و روی نقش اصلی بر بیوسنتز کلروفیل در گیاه نخود فرنگی دارند. مشخص شده است که منگنز در سیستم دفاعی گیاهان نقش دارد و با تاثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند کارایی کوانتومی PSII و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی، سبب افزایش تولید کلروفیل می‌گردد که با نتایج به‌دست آمده در سورگوم و ذرت نیز همسویی دارد (Oliveira *et al.*, 2020). همچنین در گیاهان ذرت و سورگوم تحت کمبود منگنز، کمترین شاخص کلروفیل و بازده کوانتومی PSII مشاهده شد که به‌دلیل افزایش آسیب اکسیداتیو و تخریب کلروفیل است (Oliveira *et al.*, 2020). روی به‌عنوان یک جزء ساختاری و کاتالیزوری پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و به‌عنوان عامل کمکی برای توسعه طبیعی بیوسنتز رنگدانه عمل می‌کند (Nadeem *et al.*, 2020). همچنین بررسی‌ها نشان داده است که محلول‌پاشی ریزمغذی‌های آهن، روی و منگنز شاخص کلروفیل را در گیاه لوبیا بهبود بخشید و محلول‌پاشی روی بیشترین تاثیر را در بهبود این شاخص داشته است (Marzouk *et al.*, 2019). این موضوع می‌تواند به دلیل نقش عنصر روی در متابولیسم نیتروژن و در نتیجه بیوسنتز کلروفیل و کاروتنوئیدها باشد که در نهایت موجب افزایش کارایی فتوسنتز گیاه به‌ویژه در شرایط تنش می‌گردد (Ebrahimi *et al.*, 2014).

مواد جامد محلول کل

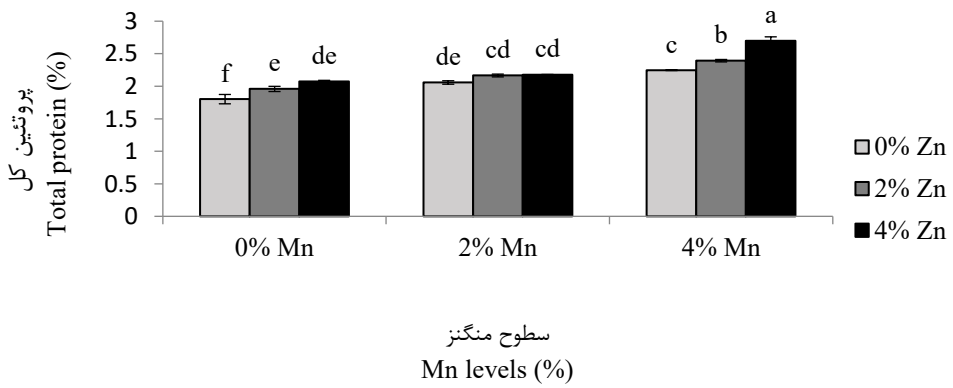
طبق نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها، محلول‌پاشی جداگانه سولفات روی و منگنز منجر به افزایش معنی‌داری در میزان مواد جامد محلول دانه نخود فرنگی شدند (جدول ۲). بیشترین درصد مواد جامد محلول دانه (۱۶/۳ درصد بریکس) در تیمار سولفات منگنز ۴ درصد حاصل شد که با تیمارهای

سولفات روی ۴ و ۲ درصد (۱۵/۳ و ۱۵/۰۷ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

کربوهیدرات‌ها به عنوان یکی از اجزای شیمیایی اصلی نخودفرنگی در نظر گرفته می‌شوند (Kasahun *et al.*, 2020). روی یک ترکیب ساختاری و کوفاکتور تنظیم‌کننده آنزیم‌های دخیل در مسیرهای مختلف بیوشیمیایی گیاهی است. به این ترتیب، کمبود روی با کاهش فعالیت آنزیم، اختلال در ثبات ریبوزومی و کاهش سرعت سنتز پروتئین، رشد و نمو گیاه را مختل می‌کند (Ullah *et al.*, 2020a). عنصر روی نقش کلیدی در تشکیل پروتئین و نشاسته دارد و در نتیجه غلظت کم روی باعث تجمع اسیدهای آمینه و کاهش محتوای قند در بافت‌های گیاهی می‌شود (Taheri *et al.*, 2011). نتایج بررسی‌ها نشان داد که محلول‌پاشی روی و منگنز، باعث افزایش شاخص‌های کیفی سیر مانند مواد جامد محلول شد که به‌دلیل اهمیت این عناصر در تجمع آسمیلات‌ها می‌باشد (Chan Chan *et al.*, 2011). افزایش میزان مواد جامد محلول توسط روی می‌تواند به این علت باشد که روی با شرکت در سنتز هورمون اکسین از طریق تحریک سنتز اسیدآمینه تریپتوفان (به‌عنوان پیش ماده سنتز هورمون اکسین) و تنظیم ایجاد نشاسته در سلول، به سنتز کربوهیدرات، پروتئین و چربی کمک می‌کند. نتایج مشابهی با کاربرد ریزمغذی‌های روی و منگنز در برنج (Akhtar *et al.*, 2022) گزارش شده است.

پروتئین محلول کل

محلول‌پاشی ریزمغذی‌های روی و منگنز منجر به افزایش معنی‌داری در محتوای پروتئین محلول کل دانه نخود فرنگی گردید (شکل ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، محلول‌پاشی تیمار ترکیبی روی و منگنز ۴ درصد با افزایش ۴۹/۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد، بیشترین مقدار محتوای پروتئین محلول کل (۲/۶۹ درصد) را نشان داد. همچنین بین تیمارهای سولفات منگنز ۴ درصد با تیمارهای ترکیبی سولفات منگنز ۲ درصد با سولفات روی ۲ و ۴ درصد و کاربرد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵).



شکل ۵- اثر محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز بر محتوای پروتئین کل دانه نخود فرنگی. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

Figure 5. Effect of Zn and Mn foliar application on seed total protein content of green pea. Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5 % probability level.

منگنز و روی دو عنصر ریز مغذی ضروری برای رشد بهینه گیاه هستند و کمبود تنها یکی از آنها می‌تواند باعث کاهش قابل توجه عملکرد شود. عناصر روی و منگنز نقش مهمی در سنتز پروتئین‌ها دارند و با کمبود آنها، گیاهان با توقف سنتز پروتئین و تجمع اسیدهای آمینه آزاد مواجه می‌شوند (Acık

and Oncan Sumer, 2023). عنصر روی در طیف وسیعی از فرآیندهای سلولی از جمله فتوسنتز، سنتز پروتئین و سیگنال‌دهی، متابولیسم اکسین و کربوهیدرات‌ها، سنتز پروتئین‌ها و یکپارچگی غشاء نقش دارد (Acık and Oncan Sumer, 2023). محلول‌پاشی روی در گیاهان نخودفرنگی دچار کمبود روی باعث افزایش معنی‌دار پروتئین دانه شد (Pandey *et al*., 2013). نشان داده شده است که نانوذرات اکسید روی باعث افزایش محتوای پروتئین در کلم و به دنبال آن افزایش کلروفیل و کاروتنوئیدها شد (Tymoszuk *et al*., 2020). کاهش غلظت پروتئین در دانه گیاهان دارای کمبود روی ممکن است به دلیل کاهش شدید فعالیت RNA پلیمراز، تغییر شکل ریبوزوم ها و افزایش فعالیت RNase در گیاهان دارای کمبود روی باشد. عنصر روی و منگنز فعالیت آنزیم RNA پلیمراز را افزایش می‌دهد، با افزایش انتقال اسیدهای آمینه میزان سنتز و تولید پروتئین افزایش می‌یابد (Kanwal *et al*., 2016). تحقیقات نشان داد مصرف برخی از عناصر ریزمغذی و از همه مهم‌تر عنصر روی، باعث افزایش پروتئین در اندام‌های هوایی و دانه ذرت گردید (Ghotavi *et al*., 2011). افزایش درصد پروتئین را می‌توان بدین‌صورت توجیه کرد که عناصر ریزمغذی روی و منگنز در تقسیم سلولی بافت‌های مریستمی، متابولیسم قندها و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم نیتروژن و همچنین به‌عنوان بخشی از ساختمان آنزیم‌ها و یا به‌صورت کوفاکتورهای تنظیم‌کننده در تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌نمایند و آنزیم‌ها بخش زیادی از مواد پروتئینی را تشکیل می‌دهند. علاوه‌بر این، محتوای پروتئین بیشتر در نخود به‌دلیل دخالت روی در بیوسنتز هموگلوبین، متابولیسم نیتروژن و اثر هم افزایی روی بر جذب نیتروژن بود (Ullah *et al*., 2020b).

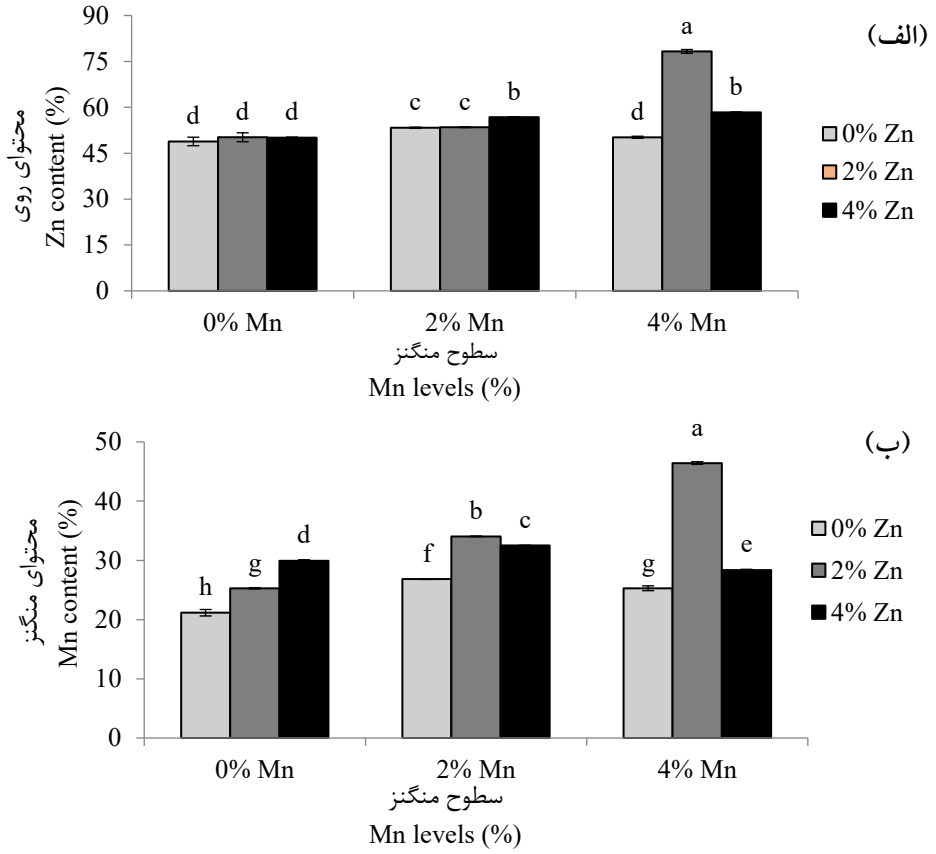
محتوای روی (Zn) و منگنز (Mn)

محلول‌پاشی ریزمغذی‌های روی و منگنز به‌طور معنی‌داری محتوای روی و منگنز دانه نخود فرنگی در را افزایش دادند (شکل ۶). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد، بیشترین میزان روی در تیمار ترکیبی حاصل از سولفات روی ۲ درصد و منگنز ۴ درصد به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها و تیمار شاهد نشان داد. در غیاب منگنز، افزایش غلظت روی تاثیری در جذب این عنصر در دانه‌های نخود فرنگی نداشت ولی با افزوده شدن منگنز در تیمارها جذب این عنصر افزایش یافت. همچنین کاربردجداگانه منگنز ۴ درصد اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد ولی با اضافه شدن روی به این تیمار محتوای روی دانه نخود فرنگی به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت (شکل ۶ الف). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان منگنز در تیمار ترکیبی حاصل از سولفات روی ۲ درصد و منگنز ۴ درصد (۴۶/۴ درصد) و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (۲۱/۱ درصد) مشاهده شد و همچنین اختلاف معنی‌داری بین کاربرد جداگانه سولفات روی ۲ درصد و منگنز ۴ درصد حاصل نشد (شکل ۶ ب).

در تحقیقی نشان دادند که محلول‌پاشی کود منگنز باعث افزایش غلظت این عنصر در برگ‌ها و ساقه‌های نخود شد که این عمل اثر تنظیمی در جذب عنصر روی داشته و باعث افزایش غلظت این عنصر در برگ‌ها گردید (Ekhtiari & Kobraee, 2018). نتایج پژوهش انجام شده در نخود نشان داد که جذب روی، بور، مس، منگنز و آهن به‌طور قابل‌توجهی در تیمار با روی افزایش یافت و کمترین میزان جذب مواد مغذی در تیمار شاهد به‌دست آمد (Rathod *et al*., 2020). گزارش شد در گیاهان نخودفرنگی دارای کمبود روی، غلظت روی کمتری

نسبت به گیاهان شاهد داشتند. غلظت روی در برگ و ساقه با محلول‌پاشی روی به میزان متفاوتی افزایش یافت (Pandey *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای دیگر گزارش کردند که محلول‌پاشی روی و نیتروژن به‌صورت جداگانه و در ترکیب با یکدیگر راهکاری برای افزایش بیوسنتز عنصر روی در دانه است (Li *et al.*, 2015).

Zhao و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که کاربرد روی به‌صورت محلول‌پاشی در افزایش محتوای روی در بافت‌های گیاهی در مقایسه با کاربرد خاکی آن موثرتر است. بررسی اثر محلول‌پاشی روی و منگنز در دو رقم برنج نشان داد که با کاربرد این دو ریزمغذی محتوای روی و منگنز در گیاه افزایش یافت که به‌دلیل وجود رابطه سینرژیستی یا هم‌افزایی بین دو عنصر گزارش شد (Nadeem *et al.*, 2020). Kobraee (۲۰۱۹) نیز نتایج مشابهی مبنی بر وجود رابطه هم‌افزایی روی و منگنز در نخود گزارش کرد. در این تحقیق با محلول‌پاشی روی و منگنز، محتوای این عناصر در برگ و دانه نخود به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت.



شکل ۶- اثر محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز بر محتوای روی (الف) و منگنز (ی) دانه نخود فرنگی. در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند.

Figure 6. Effect of Zn and Mn foliar application on Zn (A) and Mn (B) contents of green pea. Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at 5 % probability level.

نتیجه‌گیری کلی

روی و منگنز عناصر معدنی ریزمغذی ضروری برای نخود فرنگی هستند که بهره‌وری و همچنین ارزش غذایی محصول را افزایش می‌دهند. مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد برگی سولفات روی و منگنز بر عملکرد و کیفیت نخود فرنگی تأثیر می‌گذارد. استفاده از سولفات روی و منگنز در مرحله رویشی و گلدهی باعث بهبود رشد، محتوای پروتئین، مواد

جامد محلول، عملکرد دانه و غلاف، غلظت روی و منگنز در دانه شد. کاربرد سولفات روی و منگنز ۴ درصد بصورت جداگانه و در ترکیب با یکدیگر بیشترین تاثیر را در افزایش شاخص‌های رشد، کیفیت و عملکرد دانه نخود فرنگی داشت. لذا بر اساس نتایج حاصل و با توجه به کمبود عناصر ریزمغذی در خاک‌های ایران، تقویت زیستی زراعی با استفاده از محلول‌پاشی سولفات منگنز و روی با غلظت چهار درصد به عنوان یک استراتژی موثر برای بهبود عملکرد دانه پیشنهاد می‌گردد که با افزایش محتوای کربوهیدرات و پروتئین، روی و منگنز دانه موجب افزایش کیفیت غذایی دانه‌ها می‌شود.

References

Acık, A., Oncan Sumer, F. (2023). Foliar application of zinc improves agronomical and quality parameters and biofortification of cowpea (*Vigna sinensis*) under deficit Irrigation. *Agronomy*, *13,* 1021. https://doi.org/10.3390/agronomy13041021

Akhtar, N., Khan, S., Rehman, S. U., Rha, E. S., Jamil, M. & Hamad, H. (2022). Combined effect of zinc oxide nanoparticles and bacteria on osmolytes and antioxidative parameters of rice (*Oryza sativa* L.) plant grown in heavy metal-contaminated water. *Adsorption Science & Technology*, 1-15. https://doi.org/10.1155/2022/4148765

Ali, R. A. M. (2019). Effect of nitrogen fertilizer types and microelements on growth, yield and chemical constituents of tuberous root of sweet potato (*Ipomoea batatas* L, Lam). *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, *64*(5), 319-329. https://doi.org/10.21608/alexja.2019.80488

Bhat, T. A., Gupta, M., Ganai, M. A, Ahanger, R.A. & Bhat, H. A. (2013). Yield, soil health, and nutrient utilization of field pea (*Pisum sativum* L.) as affected by phosphorus and biofertilizers under subtropical conditions of Jammu. *International Journal of Modern Plant and Animal Sciences*, 1(1), 1-8. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33954.86729

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, *72*(1-2), 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Dawadi, P., Shrestha, R., Mishra, S., Bista, S., Raut, R. K. et al. (2022). Nutritional value and antioxidant properties of Viburnum mullaha Buch-Ham. Ex D. Don fruit from central Nepal. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46 (5), 781-789. https://doi.org/10.55730/1300-011X.3041

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

Ebrahimi, M., Khajehpour, M. R., Naderi, A. & Majde Nassiri, B. (2014). Physiological responses of sunflower to water stress under different levels of zinc fertilizer. *International Journal of Plant Production*, 8, 483-503. https://doi.org/10.22069/ijpp.2014.1721

Ekhtiari, S. & Kobraee, S. (2018). The assessment of supplementary irrigation and spraying of zinc and manganese on chickpea growth and yield in rainfed conditions. *International journal of modern Agriculture*, *7*(3), 37-50.

Farzadfar, S., Zarinkamar, F. & Hojati, M. (2017). Magnesium and manganese affect photosynthesis, essential oil composition and phenolic compounds of *Tanacetum parthenium*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 112, 207-217.https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.002

Ghotavi, H, Moafporian, G. H. & Bahrani, A. (2011). Effect of zinc sulfate spraying and irrigation intervals on yield, yield components and corn protein content. *Journal of Plant Ecophysiology*, 4 (1), 80-92.

Hoque, A., Alam, M. S., Khatun, S. & Salahin, M. (2021). Response of chickpea (*Cicer Arietinum* L.) to boron and molybdenum fertilization. *Journal of Bio-Science*, *29*(2), 43-51. https://doi.org/10.3329/jbs.v29i2.54953

Kanwal, N., Hanif, M. A., Khan, M. M., Ansari, T. M. & Rehman, K. H. (2016). Effect of micronutrients on vegetative growth and essential oil contents of *Ocimum sanctum*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19, 980-988. https://doi.org/10.1080/0972060X.2016.1188735

Kasahun, M., Yadate, A., Belay, A., Belay, Z. & Ramalingam, M. (2020). Antimicrobial activity of chemical, thermal and green route-derived zinc oxide nanoparticles: a comparative analysis. *Nano Biomedicine and Engineering*, *12*(1), 47-56.

Kobraee, S. (2019). Effect of foliar fertilization with zinc and manganese sulfate on yield, dry matter accumulation, and zinc and manganese contents in leaf and seed of chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, *7*(3), 20-28. https://doi.org/10.7324/JABB.2019.70305

Kumar, S., Wani, J. A., Mehraj, K., Ahmad Lone, B., Nazir, A., et al. (2022). Fortification of micronutrients for sustainable development in field crops: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 11 (6): 363-373. https://dx.doi.org/10.22271/tpi

Marzouk, N. M., Abd-Alrahman, H. A., EL-Tanahy, A. M. M. & Mahmoud, S. H. (2019). Impact of foliar spraying of nano micronutrient fertilizers on the growth, yield, physical quality, and nutritional value of two snap bean cultivars in sandy soils. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 1-9. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0127-5

Md Sarwar, J., Nozulaidi, M. & NurInani, M. (2016). Production of Corn: Effects of manganese application on plant parameters. *Journal of Agricultural Research*, *1*(2), 1-7. https://doi.org/10.23880/oajar-16000109

Mohammadzadeh Toutounchi, P. & Amirinia, R. (2016). Effect of foliar application of iron, zinc and manganese on yield and yield components of fenugreek. *Journal of Crop Improvement*, 18, 69-78. (In persian) https://doi.org/10.22059/jci.2016.56548

Nadeem, F., Azhar, M., Anwar-ul-Haq, M., Sabir, M., Samreen, T., Tufail, A., Awan, H. U. M. & Juan, W. (2020). Comparative response of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars to applied zinc and manganese for mitigation of salt stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 2059-2072. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00275-1

Nassar, M. A. & El-Sahhar, K. F. (1998). *Botanical preparations and microscopy* (microtechnique). Academic Bookshop, Dokki, Giza, Egypt.

Öktüren Asri, F. (2022). Effects of biochar and fertilizer application on soil properties and nutrient status of lettuce. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 82 (3), 469-483. https://doi.org/10.4067/S0718-58392022000300469

Oliveira, K. S., de Mello Prado, R. & de Farias Guedes, V. H. (2020). Leaf spraying of manganese with silicon

addition is agronomically viable for corn and sorghum plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *20*, 872-880. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00173-6

Pal, V., Singh, G. & Dhaliwal, S. S. (2020). Symbiotic parameters, growth, productivity and profitability of chickpea as influenced by zinc sulphate and urea application. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *20*, 738-750. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00161-5

Pandey, N., Gupta, B. & Pathak, G. C. (2013). Enhanced yield and nutritional enrichment of seeds of *Pisum sativum* L. through foliar application of zinc. *Scientia Horticulturae*, 164, 474–483.https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.013

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.

Roosta, H. R. and Hamidpour, M. (2013). Mineral nutrient content of tomato plants in aquaponic and hydroponic systems: Effect of foliar application of some macro and micro nutrients. *Journal of Plant Nutrition*, 36 (13), 2070-2083. https://doi.org/10.1080/01904167.2013.821707

Socha, A. & Guerinot, M. L. (2014). Mn-euvering manganese: the role of transporter gene family members in manganese uptake and mobilization in plants. *Frontiers in Plant Science*, 5 (106), 1-16. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00106

Song, C. Z., Liu, M. Y., Meng, J. F., Chi, M., Xi, Z. M. & Zhang, Z. W. (2015). Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of *Vitis vinifera* cv. Merlot growing on zinc deficient soil. *Molecules,* 20, 2536-2554.

Taheri, N., Abad, H. H. S., Yousefi, K. & Mousavi, S. R. (2011). Effect of organic manure with phosphorus and zinc on yield of seed potato. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *5*(8), 775-780.

Tymoszuk, A. & Wojnarowicz, J. (2020). Zinc oxide and zinc oxide nanoparticles impact on in vitro germination and seedling growth in *Allium cepa* L. *Materials*, 13(12), 2784. https://doi.org/10.3390/ma13122784

Ullah, A., Farooq, M. & Hussain, M. (2020a). Improving the productivity, profitability and grain quality of kabuli chickpea with co-application of zinc and endophyte bacteria *Enterobacter* sp. MN17. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(7), 897-912. https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1644501

Ullah, A., Farooq, M., Rehman, A., Hussain, M. & Siddique, K. H. (2020b). Zinc nutrition in chickpea (*Cicer arietinum*): A review. *Crop and Pasture Science*, 71(3), 199-218. https://doi.org/10.1071/CP19357

Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y. and Guoqin, H. 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture*, 10 (9), 396.

Younas, N., Iza, F., Ali Ahmad, I. & Khubaib Ayyaz, M. (2022). Alleviation of zinc deficiency in plants and humans through an effective technique; biofortification: A detailed review. *Acta Ecologica Sinica*.

Zhao, A. Q., Tian, X. H., Cao, Y. X., Lu, X. C. & Liu, T. (2014). Comparison of soil and foliar zinc application for enhancing grain zinc content of wheat when grown on potentially zinc deficient calcareous soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94 (10), 2016-2022. https://doi.org/10.1002/jsfa.6518