University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

The Effect of Plant Residues, Mycorrhizal Symbiosis, and Zinc Sulfate in Legume and Non-Legume Rotation on Nutrients Absorption and Wheat Yield

Amin Namdari[1], Abolfazl Baghbani-Arani[2]✉

1. Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh & Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran. Email: namdari@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agriculture Science, Payame Noor University, Tehran, Iran. Email: abolfazlbaghbani@pnu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: July 26, 2023
Received in revised form: November 14, 2023
Accepted: November 22, 2023
Published online: June 21, 2024

Keywords:
mycorrhiza,
plant residues,
qualitative yield,
rainfed cultivation,
zinc sulfate.

ABSTRACT

In order to investigate the effects of plant residues, crop rotation, mycorrhizal symbiosis, and zinc sulfate on grain yield and zinc, phosphorus contents of grain, in subtropical rainfed conditions at Gachsaran Rainfed Research Station, a study was carried out as a split factorial experiment in a RCBD with three replications and during four crop years. The treatments included four crop rotations as the main plots (including vetch, wheat, canola, and lentil), inoculation with mycorrhizal symbiosis (inoculation and non-inoculation) and two zinc sulfate rates (such as 0 and 40 $kg.ha^{-1}$) as subplots. The results showed that the highest quantitative and qualitative yield (such as phosphorus and Zn levels) were achieved in vetch-wheat rotation plus mycorrhizal symbiosis inoculation. Application of zinc sulfate or mycorrhiza in all periodic patterns increased the weight of 1000 seeds, spike weight and grain yield. Cultivation of two types of legumes (lentil and vetch) in the wheat rotation increased grain zinc concentration compared to the other two rotation patterns (wheat-wheat and canola-wheat). Grain zinc concentration was increased 5 and 18 percentage by inoculating with mycorrhiza and zinc sulfate, respectively. In general, the implementation of the periodic pattern of vetch-wheat and lentil-wheat along with the use of mycorrhiza can be recommended as an effective pattern in terms of quantitative and qualitative wheat yield.

Cite this article: Namdari, A., & Baghbani –Arani, A. (2024). The effect of plant residues, mycorrhizal symbiosis, and zinc sulfate in legume and non-legume rotation on nutrients absorption and wheat yield. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(2), 73-88. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.362563.655020.

© The Authors. **Publisher: University of Tehran Press.**

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.362563.655020.

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

تاثیر بقایای گیاهی، همزیستی مایکوریزایی، و سولفات روی در تناوب لگوم و غیر لگوم بر جذب عناصر غذایی و عملکرد گندم

امین نامداری[۱] | ابوالفضل باغبانی آرانی[۲]✉

۱. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران. رایانامه: namdari@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: abolfazlbaghbani@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:
بقایای گیاهی،
سولفات روی،
عملکرد کیفی،
کشت دیم،
مایکوریزا.

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر بقایای گیاهی، تناوب زراعی، همزیستی مایکوریزایی، و سولفات روی روی عملکرد دانه و میزان فسفر و روی دانه در شرایط دیم نیمه‌گرمسیری در ایستگاه تحقیقات دیم گچساران، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار و طی چهار سال زراعی (۱۳۹۶–۱۴۰۰) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح بقایای گیاهی به‌عنوان کرت اصلی (شامل ماشک گل‌خوشه‌ای، عدس، کلزا، و گندم)، دو سطح همزیستی مایکوریزایی (تلقیح و عدم تلقیح) و دو سطح سولفات روی (مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و عدم کاربرد آن) به‌عنوان کرت‌های فرعی بودند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد دانه و شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه و سنبله و غلظت روی و فسفر دانه بودند. نتایج نشان داد که بالاترین عملکرد کمی و کیفی (میزان فسفر و روی) دانه گندم در تناوب ماشک–گندم با تلقیح همزیستی مایکوریزایی به‌دست آمد. کاربرد سولفات روی و یا مایکوریزا در همه الگوهای تناوبی، سبب افزایش وزن هزار دانه، وزن سنبله و عملکرد دانه شد. کشت دو گونه لگوم (عدس و ماشک) در تناوب گندم، موجب افزایش غلظت روی دانه در مقایسه با دو الگوی دیگر تناوبی (گندم–گندم و کلزا–گندم) شد و همچنین به‌ترتیب مایکوریزا و سولفات روی هر کدام موجب افزایش (پنج و ۱۸ درصدی) غلظت روی دانه شدند. در مجموع، اجرای الگوی تناوبی ماشک–گندم و عدس –گندم همراه با کاربرد مایکوریزا به‌عنوان الگوی کارآمد از نظر عملکرد کمی و کیفی با کمترین کاربرد نهاده‌های شیمیایی در شرایط دیم نیمه‌گرمسیری ، قابل پیشنهاد است.

استناد: نامداری، ا.، و باغبانی آرانی، ا. (۱۴۰۳). تاثیر بقایای گیاهی، همزیستی مایکوریزایی، و سولفات روی در تناوب لگوم و غیر لگوم بر جذب عناصر غذایی و عملکرد گندم. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۲)، ۷۳-۸۸.

DOI: 10.22059/ijfcs.2023.362563.655020

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

کمبود عناصر کم‌مصرف در زمین‌های زیر کشت غلات، گسترش جهانی دارد و میلیون‌ها هکتار از زمین‌های قابل کشت در سطح جهان با کمبود یک یا چند عنصر ریزمغذی روبرو هستند. در این رابطه فائو در گزارشی مفصل از ۳۰ کشور جهان اعلام کرده است که بیش از ۳۰ درصد خاک‌های این مناطق دچار کمبود روی به‌عنوان یک عنصر کم‌مصرف می‌باشند (**FAO, 2017**). کمبود ریزمغذی‌ها در خاک نه تنها موجب افت کمی عملکرد می‌شود؛ بلکه محتوای پایین این عناصر به‌ویژه روی و آهن در محصول تولیدی، موجب کاهش جذب آن‌ها به وسیله انسان و دام می‌شود که به نوبه خود موجب بروز بیماری‌های مختلف و در نتیجه پایین‌آمدن سطح بهداشت و سلامتی جامعه می‌شود (**Cakmak *et al*., 2010; Shi *et al*., 2010; Baghbani- Arani *et al*., 2018**). کمبود روی به‌عنوان یک تهدید عمده در رابطه با سلامت انسان و مرگ و میر در مقیاس جهانی در نظر گرفته شده است. وجود آهک زیاد در خاک، واکنش قلیایی خاک، همچنین کمبود نزولات جوی و اقلیم خشک و نیمه‌خشک مشکلات فراوانی در ارتباط با جذب عناصر اصلی و کم‌مصرف توسط ریشه گیاه به‌وجود می‌آورند (**Lopez *et al*., 2001; Alizadeh *et al*., 2008; Baghbani- Arani *et al*., 2018**).

در عین حال بخش قابل توجهی از زمین‌های کشاورزی در کشور ایران تحت تاثیر عوامل یاد شده قرار دارند که موجب تشدید کمبود جذب ریزمغذی‌ها از خاک می‌شوند. در همین راستا، نتایج برخی بررسی‌های انجام‌پذیرفته در ایران، حاکی از کمبود شدید روی در گستره وسیعی از زمین‌های زیر کشت گندم می‌باشد (**Baghbani- Arani *et al*., 2018**). افزون بر اهمیت غلظت مناسب روی در دانه و کاه گندم به منظور تامین نیازهای انسانی و دامی، غلظت مناسب این عنصر در بذر این گیاه در رشد اولیه و استقرار گیاهچه و نهایتا عملکرد نهایی محصول نیز تاثیر بسزایی دارد. گیاهچه‌های حاصل از بذرهایی با محتوای پایین روی در خاک‌های با سطح پایین این عنصر و تحت شرایط دیم، رشد و استقرار ضعیفی دارند (**Yilmaz *et al*., 1998**).

عنصر روی دارای تحرک پایینی در خاک بوده و کمبود آن مسئله‌ای رایج به‌ویژه در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (**Broadley *et al*., 2007**). یک راه حل جهت حل مشکل کمبود روی در گیاهان زراعی صرف نظر از وضعیت خاک، غنی‌سازی زیستی می‌باشد (**White & Broadly, 2009; Baghbani- Arani *et al*., 2018**)؛ شیوه‌ای که امکان افزایش قابل توجه غلظت عناصر معدنی را در گیاهان فراهم می‌کند. غنی‌سازی زیستی دو جنبه مهم را شامل می‌شود: غنی‌سازی زیستی از طریق اصلاح ژنتیکی و یا با بهره‌گیری از روش‌های زراعی (**Cakmak, 2008**). غنی‌سازی ژنتیکی با انتخاب و اصلاح کارایی جذب، انتقال مجدد و بهره‌برداری از روی در گیاهان حاصل شده است (**Hacisalihoglu & Kochian, 2003**). البته استفاده از شیوه‌های به‌نژادی در این رابطه زمان‌بر بوده و تنها هنگامی مفید است که ویژگی‌های خاک برای رشد محصول مورد نظر مناسب باشد. در نقطه مقابل، روش‌های آگرونومیکی در رابطه با بهبود غلظت روی در بافت‌های گیاهی، به سهولت قابل استفاده بوده و مورد تایید قرار گرفته‌اند (**Zhang *et al*., 2012**). تاکنون استفاده از شیوه‌های ژنتیکی و زراعی در زمینه غنی‌سازی زیستی با موفقیت نسبی همراه بوده است؛ اما در عین حال نیازمند صرف هزینه‌های بالا در زمینه مهندسی ژنتیک یا مصرف کودهای شیمیایی می‌باشند.

همزیستی قارچ‌های مایکوریزا، رهیافت نوین و پایداری در راستای افزایش میزان جذب ریزمغذی‌ها توسط گیاهان زراعی می‌باشد (**Cavagnaro, 2008**). این قارچ‌ها با سیستم ریشه گیاه یکپارچه شده و قابلیت جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه را افزایش می‌دهند (**Smith & Smith, 2011**). عمده گیاهان زراعی قادر به ایجاد رابطه همزیستی با این قارچ‌ها می‌باشند، تنها استثنای عمده اعضای خانواده **Brassicacea** می‌باشند (**Wang & Qiu, 2006**). افزایش جذب عناصر غذایی کم‌تحرک در خاک به‌ویژه فسفر و روی از مهمترین فواید همزیستی مایکوریزایی برای گیاه میزبان است (**Jansa *et al*., 2003; Aghababai *et al*., 2011**). با در نظر گرفتن تقاضای روزافزون در رابطه با کودهای حاوی روی و با توجه به قابلیت قارچ مایکوریزا در بهبود قابل توجه جذب این عنصر، استفاده از همزیستی مایکوریزایی به‌ویژه در غلات به‌عنوان یکی از راه حل‌ها جهت افزایش میزان جذب روی، پیشنهاد شده است (**Ortas, 2012**). علاوه‌بر اثرات مستقیم مایکوریزا در افزایش جذب روی از خاک، گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر اینکه این قارچ موجب کاهش **pH** ریزوسفر شده و بدین‌ترتیب زمینه افزایش حلالیت و دسترسی به روی و سایر عناصر کم‌مصرف را برای گیاه فراهم می‌آورد (**Mohammad *et al*., 2005**).

در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک، بقایای گیاهی تولیدی در مزارع سوزانده شده و یا برای خوراک دام استفاده می‌شود. این بقایا منبع قابل توجهی از عناصر کم‌نیاز از جمله روی بوده و مخلوط‌کردن آن‌ها با خاک، می‌تواند به چرخه این عناصر در خاک کمک کند (**Khoshgoftarmanesh *et al*., 2010**). نتایج محققان نشان داده‌است که هر تن کاه گندم می‌تواند از عناصر روی، آهن، منگنز، مس، بور و مولیبدن به‌ترتیب حاوی ۹۶، ۷۷۷، ۷۴۵، ۴۲، ۵۵ و چهار گرم باشد (**Prasad, 1999**). بر اساس یافته‌های محققان ۵۰ تا ۸۰ درصد روی، مس و منگنز جذب‌شده توسط کاه گندم در صورت بازگرداندن این بقایا به خاک، دوباره به سیستم زراعی بر می‌گردد (**Prasad & Sinha, 1999**). در این راستا، باغبانی آرانی و همکاران (**2018**) گزارش کردند که در خاکی با کمبود شدید روی در ایران (شهرستان دهاقان در استان اصفهان) که با شش تیمار (شاهد، سولفات روی، بقایای گندم، بقایای لوبیا، بقایای گندم + روی و بقایای لوبیا + روی) غنی‌سازی زیستی در تناوب گندم صورت گرفته بود به‌ترتیب بالاترین میزان عملکرد، پروتئین و غلظت روی دانه مربوط به تیمار بقایای لوبیا + روی و کمترین میزان آنها مربوط به شاهد بود.

در رابطه با تاثیرپذیری همزیستی مایکوریزایی تحت تاثیر بقایای گیاهی و بالعکس مطالعات محدودی انجام پذیرفته است. به‌طور کلی مشخص شده است که کاربرد فسفر معدنی موجب کاهش کلونیزاسیون مایکوریزایی در ریشه گیاهان می‌شود (**Hasbullah *et al*., 2011**). اثرپذیری کلونیزاسیون مایکوریزایی از فسفر معدنی را به وجود یا عدم وجود بقایای گیاهی و نوع بقایای گیاهی مربوط دانسته‌اند. در این راستا، نامبردگان گزارش کردند که در حضور بقایای باقلا و نخود، کاربرد فسفر معدنی به فرم کودی تاثیر بازدارنده بر همزیستی مایکوریزایی با ریشه گندم بر جای نمی‌گذارد. در هماهنگی با این نتایج، بیان شده است که استفاده از بقایای گیاه لگوم لوپن با افزایش قابل توجه در میزان کلونیزاسیون ریشه گندم توسط قارچ مایکوریزا همراه است (**Borie *et al*., 2002**).

از آن‌جایی‌که اطلاعات محدودی در زمینه تأثیر انواع بقایای گیاهی و مایکوریزا بر قابلیت جذب فسفر و روی در خاک و غلظت آن در دانه گندم خصوصا در شرایط دیم وجود دارد، پژوهش حاضر با هدف تأثیر انواع بقایای گیاهی در تناوب گندم و مایکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی (روی و فسفر) دانه گندم در شرایط دیم در منطقه گچساران انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. مشخصات محل و زمان انجام آزمایش

منطقه مورد مطالعه ایستگاه تحقیقات دیم گچساران واقع در استان کهکیلویه و بویراحمد در ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۹۷ دقیقه عرض شرقی با ارتفاع ۶۷۰ متر از سطح دریا قرار دارد، اقلیم این ناحیه گرمسیری با میانگین دمای ۲۱/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه ۴۳۰ میلی‌متر است.

انتخاب بقایا با توجه به کشت رایج در منطقه و الگوی بهینه تناوب زراعی انجام پذیرفت. این پژوهش به‌صورت اسپلیت‌فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و طی چهار سال زراعی ۱۳۹۶-۱۴۰۰ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح بقایای گیاهی به‌عنوان کرت اصلی (شامل ماشک گل‌خوشه‌ای، عدس، کلزا و گندم)، دو سطح همزیستی مایکوریزایی (تلقیح و عدم تلقیح) و دو سطح سولفات روی (مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و عدم کاربرد آن) به‌عنوان کرت‌های فرعی بودند. اندازه هر واحد آزمایشی ۱۲ متر مربع در نظر گرفته شد. در سال‌های فرد (اول و سوم) در هر تکرار صرف نظر از تیمار همزیستی مایکوریزایی و کود شیمیایی، چهار واحد آزمایشی به کشت هر یک از گونه‌های اشاره‌شده اختصاص یافت. در پایان هر یک از سال‌های یکم یا سوم و پیش از کشت گندم در سال متعاقب، بقایای گیاهی تولیدشده به قطعات ریز خرد شده (پنج تا۱۰ سانتی‌متر) و تا عمق ۱۵ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. میزان مصرف بقایا از هرگونه گیاهی بسته به عملکرد زیستی و شاخص برداشت آن گونه تعیین شد. بدین‌ترتیب بسته به نوع تناوب (۱: ماشک (رقم طلوع)-گندم (رقم آفتاب)، ۲: گندم-گندم، ۳: کلزا (هیبرید هایولا ۵۰)-گندم، ۴: عدس (رقم گچساران)-گندم) و با توجه به تفاوت گونه‌های مذکور در تراکم کاشت، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت، میزان بقایای افزوده‌شده به خاک نیز متفاوت بود. در سال‌های زوج (دوم و چهارم)، کشت گندم با اعمال تیمار تلقیح مایکوریزایی و کود شیمیایی انجام پذیرفت. تاریخ کاشت گندم در حد فاصل ۱۵ آبان تا ۲۰ آذرماه بسته به توزیع بارندگی

فصلی صورت گرفت. به منظور ایجاد همزیستی مایکوریزایی از برند تجاری مایکوروت مخصوص تلقیح بذر استفاده شد. ویژگی این مایه تلقیح، دربرداشتن گونه‌های مختلفی از قارچ مایکوریزا (حاوی قارچ میکوریزا آربوسکولار سویه‌های ***Glomus intraradices***، ***Glomus mosseae*** و ***Glomus etunicatum*** با شمارش 10^7 (CFU/gr) تا 10^8) می‌باشد که موجب بالا رفتن شانس تلقیح و ارتقای کارایی آن می‌شود. تلقیح بذور با مایه تلقیح مربوطه پیش از کاشت انجام شد. روش تلقیح بذرها بدین صورت بود که بذور را در سایه روی نایلون یا سطح تمیز ریخته و پس از آغشتن آن‌ها با مقدار کمی آب، کود مایکوریز را به آن اضافه کرده و کاملا با هم مخلوط شدند به‌گونه‌ای‌که تمامی بذرها با یک لایه یکنواخت از مایه تلقیح پوشانده شدند. پس از خشک‌شدن بذور در سایه اقدام به کاشت شد. در پایان فصل رشد گندم در سال‌های زوج، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و غلظت فسفر و روی دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. اندازه‌گیری فسفر با روش اسپکتروفتومتری و برای اندازه‌گیری غلظت روی دانه گندم، دانه به وسیله ماکروویو (مدل **Berghof –Speed Wave 4**) به همراه مخلوط اسیدنیتریک و آب‌اکسیژنه عصاره‌گیری‌شده و غلظت روی در عصاره به وسیله دستگاه جذب اتمی (پرکین المر آ- آنالیست ۲۰۰) اندازه‌گیری شد (**Baghbani Arani *et al*., 2018**). در جدول ۱، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از کشت، ارائه شده‌اند. با توجه به نتایج آزمایش خاک ارائه‌شده در جدول ۱، کاربرد کودهای فسفر و پتاس انجام نشد. وضعیت بارش و میانگین دما در سال‌های اجرای آزمایش در شکل ۱ نمایش‌داده شده‌اند.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی خاک محل آزمایش.

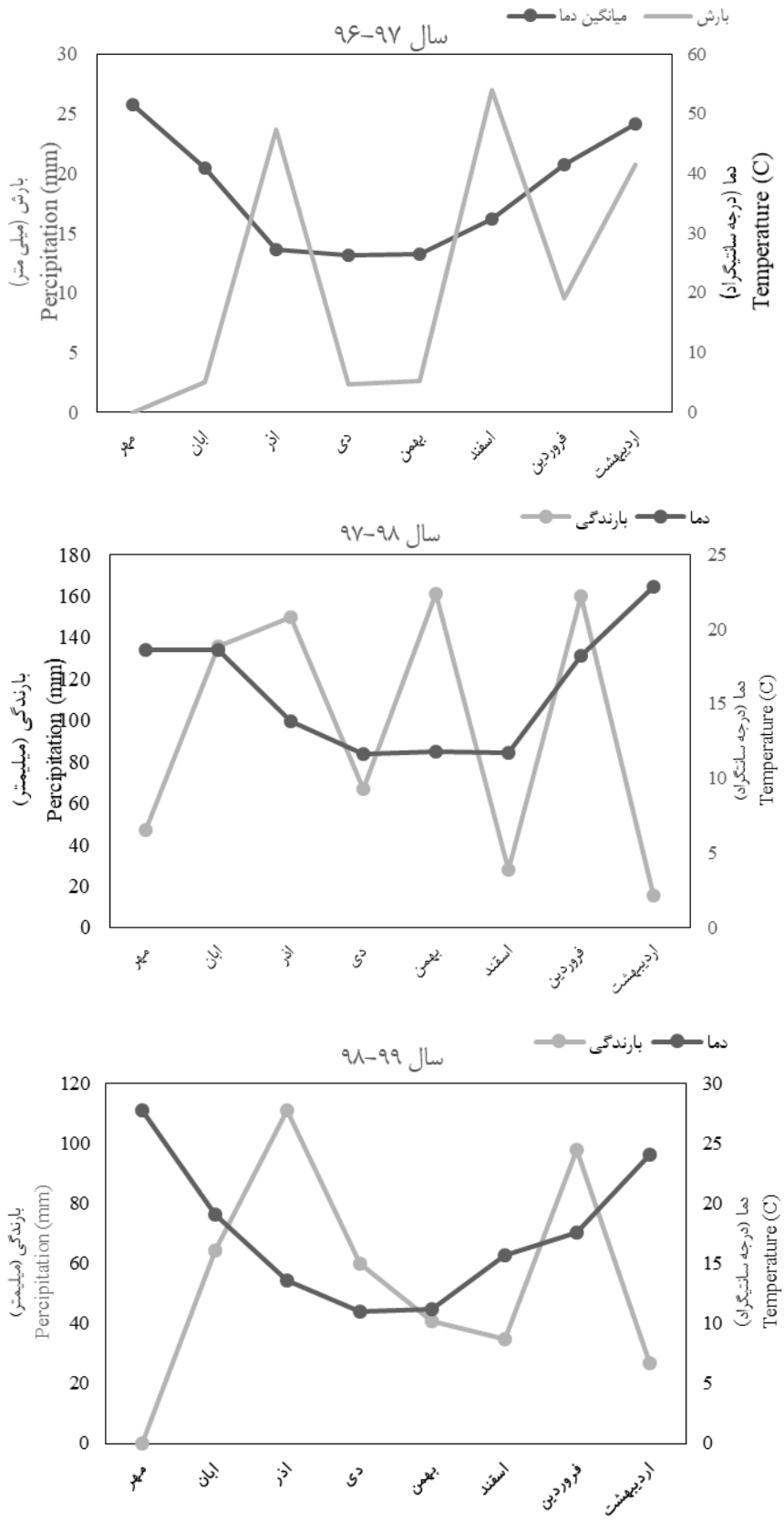
Depth (cm)	Soil Texture	Available K ($mg.kg^{-1}$)	Total Nitrogen (%)	Available P ($mg.kg^{-1}$)	Organic Matter (%)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	Fe ($mg.kg^{-1}$)	Zn ($mg.kg^{-1}$)
0-30	Silty clay loam	266	0.061	15.5	0.5	7.6	1.36	6.53	1.23

در سال نخست اجرای آزمایش، پس از کشت در تاریخ ۱۶ آذر ماه به سبب خشکی طولانی‌مدت و عدم بارش طی ماه‌های دی و بهمن، رشد بوته به شدت محدود و پتانسیل عملکرد از بین رفت، لذا نتایج سال یادشده نماینده‌ای از میانگین بلندمدت یا میان‌مدت نبوده و در عمل نیز عملکرد دانه غیر قابل استناد بود.

بررسی منحنی آمبروترمیک این سال (شکل ۱) نشان می‌دهد که در طی دو ماه یادشده، گیاه با تنش خشکی شدید مواجه شده و با توجه به عدم گسترش کافی سیستم ریشه در این مرحله، امکان مقابله با این محدودیت نیز وجود نداشت. بارش‌های پایان زمستان و آغاز بهار نیز با توجه به از بین‌رفتن پتانسیل رشد بوته، اثری بر عملکرد نداشتند. در سال زراعی ۹۸–۹۷، مجموع مقدار بارندگی ۷۶۴ میلی‌متر بود که به مقدار قابل توجهی بالاتر از میانگین بلندمدت (۴۳۵ میلیمتر) بود. از این مقدار، ۳۳۲ میلی‌متر بارش در پاییز، ۲۵۶ میلی‌متر در زمستان و ۱۷۶ میلی‌متر نیز در بهار روی داد؛ لذا عمده بارش در پاییز و به‌ویژه در زمان پیش از کاشت روی داد. در سال زراعی ۹۹–۱۳۹۸، میزان بارندگی در ایستگاه گچساران ۴۳۵/۲ میلی‌متر بوده که تقریباً معادل با میانگین بلندمدت بوده است. پراکنش بارندگی در پاییز ۱۷۵/۶، در زمستان ۱۳۵/۵ و در بهار ۱۲۴/۱ میلی‌متر بود.

میزان بقایای برجای‌مانده از هرگونه گیاهی بسته به عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت آن، متفاوت بود؛ لذا بسته به نوع تناوب زراعی اعمال‌شده و با توجه به تفاوت گونه‌های مذکور در تراکم کاشت، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت، میزان بقایای افزوده‌شده به خاک نیز متفاوت بودند. بقایای باقیمانده پس از انجام آبیاری سبک توسط دیسک تا عمق ۱۵ متری با خاک مخلوط شدند و جهت تسریع فرایند تجزیه مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره نیز پیش از دیسک به خاک افزوده شد. لازم به ذکر است که پس از اجرای تناوب زراعی در سال ۹۹–۹۸ در سال متعاقب، کشت گندم آفتاب بر اساس الگوی تناوبی انجام گرفت که به سبب بارندگی‌های سنگین پاییزی و تاخیر اجتناب‌ناپذیر در کشت و در ادامه مواجه‌شدن با عدم بارش و تنش خشکی طولانی‌مدت، عملکرد گندم در سال زراعی ۴۰۰–۹۹ بسیار محدود بود و امکان اعمال بهینه کوددهی سولفات روی و مایکوریزا نیز وجود نداشت، لذا داده‌ها غیر قابل اطمینان بودند و ازاین‌رو در ارائه نتایج و تجزیه آماری، تنها به سال زراعی ۹۸–۹۷ اشاره شده است.

برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار **SAS 9.1** و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.



شکل ۱. منحنی‌های آمبروترمیک طی سال‌های ۹۶-۹۸ در منطقه گچساران.

۳. نتایج پژوهش و بحث

در سال زراعی ۹۷–۹۶ در اثر تنش شدید خشکی در طی فصل زمستان (شکل ۱)، عملکرد هر چهار محصول زراعی کاهش شدیدی پیدا کرد و این موضوع به‌ویژه در مورد کلزا، شدیدتر نیز بود چرا که مرحله سبزشدن کلزا از گیاهان دیگر دشوارتر است و با توجه به کمبود بارش در این مرحله استقرار مناسبی برای بوته‌های کلزا روی نداد. به‌نحوی‌که به سبب تنش خشکی پس از کشت، سبزشدن و استقرار گیاهچه مختل شد که به افت شدید پتانسیل عملکرد منجر شد؛ به‌گونه‌ای‌که در زمان برداشت، عملا عملکرد دانه معنی‌داری وجود نداشت و رشد رویشی نیز بسیار کم بود (جدول ۲).

در سال زراعی ۹۹–۹۸ به‌واسطه مقدار و پراکنش مناسب بارش طی سال زراعی، عملکرد بیولوژیک هر چهار محصول کشت‌شده مناسب بود و موجب افزایش مقدار قابل توجهی از بقایای گیاهی به خاک شد. لازم به ذکر است به سبب محدودیت‌های مربوط به ترافیک ماشین‌آلات کاشت، کشت با تاخیر و در دی‌ماه انجام شد که در صورت کشت سریعتر عملکرد حاصل‌شده به‌طرز قابل توجهی بالاتر می‌شد. در جدول ۲، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و میزان بقایای برگشت‌داده‌شده به خاک، نمایش داده شده اند.

۳–۱. عملکرد دانه و شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تناوب، کاربرد مایکوریزا و سولفات روی و اثر برهمکنش تناوب و مایکوریزا در سطح یک درصد و اثر برهمکنش مایکوریزا و سولفات روی در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد؛ ولی اثر تیمارهای آزمایشی و برهمکنش آن‌ها بر صفت شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که کشت گندم در تناوب با ماشک با تولید بالاترین عملکرد دانه، در مقایسه با سه گیاه زراعی دیگر با افزایش معنی‌دار عملکرد دانه همراه بود. همچنین مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر برهمکنش مایکوریزا و سولفات روی نشان داد که در شرایط عدم همزیستی مایکوریزایی، کاربرد سولفات روی باعث افزایش ۱۰/۸ درصدی عملکرد دانه شد؛ اما در شرایط ایجاد همزیستی مایکوریزایی، کاربرد سولفات روی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت (جدول ۵).

در راستای نتایج این تحقیق، در پژوهشی گزارش شد که کاربرد انواع بقایای گیاهی (گندم و لوبیا) و سولفات روی بر میزان عملکرد دانه گندم اثر معنی‌داری داشت؛ به‌گونه‌ای‌که در بین بقایا، بقایای لوبیا (لگوم) باعث افزایش عملکرد ۲۰ درصدی نسبت به شاهد شد؛ ولی بیشترین عملکرد دانه گندم هنگامی به‌دست آمد که بقایای لوبیا به همراه عنصر روی به خاک اضافه و باعث افزایش عملکرد ۳۵ درصدی نسبت به شاهد شد. محققان این تحقیق نتیجه گرفتند علاوه‌بر اثر اضافه‌شدن روی به خاک، به‌دلیل تجزیه-پذیری بیشتر و سریعتر، نیتروژن بیشتر، کلات‌کنندگی قوی‌تر و نسبت **C/N** پایین، بقایای لوبیا توانسته اثر بیشتری بر غلظت روی دانه گیاه داشته باشد (**Baghbani-Arani *et al*., 2018**). در تحقیقی دیگر، نشان دادند که اختلاط بقایای گیاهی (سورگوم، آفتابگردان، گلرنگ، لوبیای چیتی و شبدر به مقدار هشت تن در هکتار) با خاک سبب افزایش عملکرد دانه گندم به مقدار ۲۰ تا ۱۰۰ درصد در رقم بک‌کراس روشن و ۱۰ تا ۸۸ درصد در رقم کویر در مقایسه با شاهد شد (**Dorostkar *et al*., 2012**). بقایای گیاهی با افزایش ماده آلی خاک، بهبود رشد ریشه و افزایش قابلیت جذب عناصر کم‌نیاز و پر نیاز خاک سبب افزایش عملکرد در گیاهان می‌شوند (**Alberta, 1995**). همچنین نتایج مطالعات گوناگون نشان می‌دهد که اثر بقایای گیاهی بر عملکرد گیاه، بسته به شرایط محیطی و کیفیت بقایا متفاوت است (**Khoshgoftarmanesh *et al*., 2010**). همچنین گزارش شده‌است که بقایای شبدر نسبت به سورگوم و گلرنگ به‌علت آزادسازی بیشتر نیتروژن و رشد بهتر ریشه سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم نسبت به سایر تیمارها شد (**Dorostkar *et al*., 2012**).

همچنین در مطابقت با نتایج این تحقیق، کاکماک (**Cakmak, 2008**) طی مطالعه‌ای روی مصرف ۲۳ کیلوگرم کود حاوی روی نشان داد که عملکرد دانه گندم به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در تحقیقی دیگر، نشان دادند که تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط دیم، احتمالا از طریق افزایش طول ریشه، موجب افزایش جذب آب و عملکرد دانه گندم دوروم و کاهش مصرف کود شیمیایی فسفر شد (**Naserirad *et al*., 2021**). در مطالعه‌ای با هدف تجزیه و تحلیل تأثیر قارچ مایکوریزا روی تثبیت و انتقال نیتروژن تثبیت‌شده از باقلا به گندم در کشت مخلوط، مشاهده شد که کاربرد قارچ مایکوریزا موجب افزایش نیتروژن و عملکرد دانه

گندم شد. در این مطالعه گزارش شد که هر چه میزان تلقیح با قارچ مایکوریزا بیشتر باشد، میزان نیتروژن تثبیت‌شده توسط باقلا و میزان نیتروژن انتقال‌یافته از باقلا به گندم افزایش می‌یابد (**Wahbi *et al.*, 2016**). ناصری و همکاران (**Naseri *et al.*, 2017**) در تحقیقی گزارش کردند که باکتری‌های حل‌کننده فسفات و مایکوریزا اثر مثبت و معنی‌داری بر تجمع مواد غذایی در اندام‌های مختلف گندم در شرایط دیم نسبت به شرایط شاهد و تیمار صددرصد کود شیمیایی داشتند که این امر در نهایت منجر به افزایش عملکرد گندم دیم در منطقه ایلام می‌شود.

جدول ۲. عملکرد دانه و زیستی، شاخص برداشت و مقدار بقایای گیاهی در تناوب.

Crop		The amount of residues left in the soil (Kg.ha^{-1})		Harvest index %		Seed yield (Kg.ha^{-1})	Biological yield (Kg.ha^{-1})	
Year	2018-19	2016-17	2018-19	2016-17	2018-19	2016-17	2018-19	2016-17
Wheat	4090	-	33	33	2410	1240	7310	4360
Canola	2568	-	26	-	902	-	3470	400
Vicia	3788	-	32	31	1782	830	5570	2530
Lentil	1775	-	33	36	874	745	2650	2070

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی گندم تحت تیمارهای آزمایش.

S.0.V.	df	Seed yield	Biological yield	1000-seed weight	phosphorus concentration of seed	Zinc concentration of seed	Spike weight
Block	2	0.008	2.42	0.407	0.000	1.9	3306
Rotation (R)	3	2.148**	12.67**	98.55**	0.003**	172.66**	603823**
Ea	6	0.039	0.367	0.923	0.000	10.40	4951
Mycorrhiza (M)	1	2.448**	25.97	67.92**	0.011**	65.94*	927130**
R×M	3	0.070	0.30	3.35**	0.001**	17.41	22012
Zinc sulfate (Z)	1	0.832**	2.56*	59.80**	0.000	941.01**	169100**
R*Z	3	0.032	0.149	1.96*	0.000	9.32	4059
M*Z	1	0.295*	2.90*	8.58**	0.000	31.68	75446*
R*M*Z	3	0.000	0.165	0.266	0.000	6.37	4655
Eb	24	0.031	0.387	0.678	0.000	16.14	13338
C.V		16.1	19.51	1.1	0.1	2.85	1.20

***Significant at the 0.05 probability levels.,**Significant at the 0.01 probability levels.**

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر تناوب بر عملکرد کمی و کیفی گندم.

Rotation (R)	Seed yield (t.ha^{-1})	Biological yield ()t.ha^{-1})	Zinc concentration of seed (%)	Spike weight per plant (mg)
Vicia-Wheat	4.52a	12.61a	47.15a	3090a
Wheat-Wheat	3.76b	10.83b	43.06b	2802b
Canola-Wheat	3.56c	10.24c	41.08b	2541c
Lentil-Wheat	3.78b	10.82b	49.4a	2824b

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون **LSD** در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارد.

۲-۳. وزن هزاردانه و وزن سنبله

جدول تجزیه واریانس نشان داد که وزن هزار دانه و وزن سنبله تحت تاثیر اثر ساده تناوب، مایکوریزا و سولفات روی و اثر برهمکنش مایکوریزا و سولفات روی قرار گرفتند و علاوه بر این، اثر برهمکنش تناوب و مایکوریزا بر وزن هزار دانه نیز معنی‌دار شد (جدول

۳). در رابطه با برهمکنش مایکوریزا و سولفات روی مشاهده شد که کاربرد سولفات روی در حضور یا عدم حضور مایکوریزا موجب افزایش وزن هزار دانه و وزن سنبله شد؛ به‌گونه‌ای‌که در شرایط کاربرد و بدون کاربرد مایکوریزا سبب افزایش (۸/۴۳ و ۲/۹ درصدی) وزن هزار دانه و (۷/۴۱ و ۱/۳۵) درصدی وزن سنبله شد و تاثیر این افزایش در شرایط عدم وجود مایکوریزا محسوس‌تر بود (جدول ۵). همچنین به‌ترتیب کاربرد سولفات روی و یا مایکوریزا در همه الگوهای تناوبی، سبب افزایش عملکرد دانه شد و بالاترین وزن هزار دانه مربوط به تناوب با ماشک و پس از آن تناوب با عدس قرار داشت (جداول ۶ و ۷). در این راستا، به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن سنبله، در تناوب گندم با ماشک و گندم با کلزا مشاهده شد (جدول ۴) و علاوه‌براین، کاربرد مایکوریزا و یا سولفات روی، سبب افزایش حدود ۱۰ و چهار درصدی وزن سنبله گندم شد (جداول ۸ و ۹).

برگرداندن بقایای گیاهی در خاک به افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی، افزایش محتوای کربن آلی خاک، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و بهبود دسترسی به مواد غذایی در کشت متعاقب منجر می‌شود (**Cayuela *et al*., 2009**). استفاده از انواع مختلفی از بقایای گیاهی و مقادیر متفاوتی از آنها یکی از ابزارهایی است که به حداکثر بهره‌گیری از این بقایا کمک می‌کند (**Abiven *et al*., 2005**). افزودن بقایای کلزا به خاک به سبب نسبت‌های بالای **N:C** و **S:C** موجب افزایش قابل توجه منابع سولفات و نیز فعالیت‌های میکروبی مرتبط با جذب سولفور در خاک می‌شود که در تامین نیازهای کشت بعدی به‌ویژه در خاک‌های دچار کمبود این عناصر موثر هستند (**Singh *et al*., 2004**). در رابطه با تاثیر بقایای گندم بر کشت بعدی گندم تحت شرایط دیم، امام و همکاران (**Imam *et al*., 2010**) بیان داشتند که حفظ کاه و کلش گندم همراه با سیستم خاکورزی حداقل به افزایش عملکرد و وزن هزار دانه کشت بعدی منجر می‌شود. بهره‌گیری از لگوم‌ها در تناوب با غلات، موجبات کاهش نیاز به مصرف کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد غلات را فراهم می‌کند (**Dayegamiye *et al*., 2012**) که به نوبه خود فواید قابل توجه اقتصادی و زیست‌محیطی را در بردارد. افزون بر اثر لگوم‌ها در تامین نیتروژن مورد نیاز غلات، این گیاهان موجب بهبود وضعیت رطوبتی خاک، افزایش کارایی مصرف آب، افزایش دسترسی به عناصر غذایی، کنترل علف‌های هرز و شکستن چرخه زندگی آفات می‌شوند. نیتروژن تثبیت‌شده توسط لگوم‌ها در بقایای آنها معدنی شده و قابل استفاده برای کشت بعدی می‌باشند. بهره‌برداری از این نیتروژن به میزان برگشت بقایا به خاک و سرعت تجزیه بقایا بستگی دارد. سرعت تجزیه این بقایا به ترکیب شیمیایی آنها و به‌ویژه نسبت **C/N**، محتوای پلی‌فنول، لیگنین و نیتروژن، شرایط اقلیمی و خاک بستگی دارد (**Dayegamiye *et al*., 2015**).

ماشک نیز به‌دلیل تولید ماده خشک زیاد و نیز توانایی بالای تثبیت نیتروژن، گزینه مناسبی برای قرار گرفتن در تناوب با غلات و استفاده از بقایای آن جهت افزایش باروری خاک می‌باشد (**Griffin *et al*., 2000; Heydarpour *et al*., 2018**). در زمینه تاثیر کاربرد بقایای گیاهی به عنوان منبع تامین‌کننده عناصر ضروری پرمصرف و کم‌مصرف گندم گزارش‌هایی ارائه شده است. اکبری و همکاران (**Akbari *et al*., 2013**) بیان داشتند که بقایای یونجه به‌عنوان یک لگوم در مقایسه با بقایای گونه‌های غیر لگوم شامل پنبه و ذرت تاثیر بهتری در تامین پتاسیم مورد نیاز گندم دارد. همچنین گزارش شده است که کاربرد بقایای گیاهی سورگوم با افزایش معنی‌دار غلظت روی دانه گندم در رقم‌های کارامد از لحاظ جذب روی و نیز غیر کارامد از این نظر همراه می‌باشد (**Dorostkar *et al*., 2012**).

علاوه‌براین، گزارش شد که استفاده از قارچ مایکوریزا باعث افزایش قابل توجه اجزای عملکرد دانه و تعداد سنبلچه گندم شد (**Bahrani *et al*., 2010**). همچنین، ضیائیان و ملکوتی (**Ziaian & Malkouti, 1999**) مشاهده کردند که در اثر مصرف روی و آهن، عملکرد دانه گندم و اجزای آن (وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

۳-۳. عملکرد بیولوژیکی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده هر سه فاکتور تناوب، مایکوریزا و سولفات روی و همچنین اثر برهمکنش مایکوریزا و سولفات روی نیز در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد زیستی معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر تناوب بر عملکرد زیستی نیز الگوی مشابهی با عملکرد دانه داشت؛ به‌نحوی‌که به‌ترتیب بالاترین و کمترین عملکرد زیستی گندم در تناوب با ماشک و با کلزا به‌دست آمد (جدول ۴). با توجه به مقدار بسیار قابل توجه بارش در طی فصل رشد (بیش از ۷۶۰ میلی‌متر) و نیز پراکنش مناسب بارش‌ها (شکل ۱، سال ۹۸-۹۷)، عملکرد حاصل‌شده در مقیاس دیم بسیار قابل توجه بود؛ به‌نحوی‌که میانگین کل عملکرد زیستی حدود

۱۱ تن بود که در کشت دیم بسیار قابل توجه است. در رابطه با برهمکنش مایکوریزا و سولفات روی (جدول ۵)، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط عدم همزیستی مایکوریزایی، کاربرد سولفات روی با افزایش (۸/۷۵ درصدی) معنی‌دار عملکرد زیستی همراه شد؛ اما با کاربرد مایکوریزا به‌عنوان نهاده زیستی، کاربرد سولفات روی، منجر به ایجاد تفاوت معنی‌داری نشد. در مجموع، با کاربرد مایکوریزا صرف نظر از کاربرد یا عدم کاربرد سولفات روی عملکرد زیستی بالاتری حاصل شد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر برهمکنش مایکوریزا و سولفات روی بر صفات کمی گندم.

Mycorrhiza	Zinc sulfate	Seed yield ($t.ha^{-1}$)	Biological yield ($t.ha^{-1}$)	1000-seed weight (g)	Spike weight per plant (mg)
Control	0	3.47c	9.91c	29.10c	2576c
	40	3.89b	10.86b	31.78b	2774b
Mycorrhiza	0	4.08a	11.87a	32.35b	2933a
	40	4.19a	11.82a	33.31a	2973a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون **LSD** در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تناوب زراعی و سولفات روی بر وزن هزار دانه.

Rotation (R)	Zinc sulfate	1000-seed weight (g)
Vicia-Wheat	0	32.25c
	40	34.8a
Wheat-Wheat	0	29.8e
	40	31.55c
Canola-Wheat	0	29.51e
	40	30.25de
Lentil-Wheat	0	31.28cd
	40	33.6b

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون **LSD** در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تناوب و مایکوریزا بر صفات کمی و کیفی گندم.

Rotation (R)	Mycorrhiza	1000-seed weight (g)	phosphorus concentration of seed (%)
Vicia-Wheat	Control	31.85c	0.118bc
	Mycorrhiza	35.2a	0.159a
Wheat-Wheat	Control	29.47e	0.096e
	Mycorrhiza	31.88c	0.126b
Canola-Wheat	Control	29.43e	0.102de
	Mycorrhiza	30.33de	0.11cd
Lentil-Wheat	Control	31.02cd	0.111cd
	Mycorrhiza	33.87b	0.15a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون **LSD** در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

در تحقیقی که به ارزیابی کاشت بقولات به‌عنوان گیاهان جایگزین در نظام زراعی آیش–گندم در استان خراسان شمالی در شرایط دیم می‌پرداخت گزارش شد که بیشترین میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی آن در شرایط آیش – گندم و پس از آن در تناوب ماشک و عدس و در نهایت در تناوب نخود و یونجه به‌دست آمد؛ درحالی‌که عملکرد گندم، در شرایط گندم – گندم کاهش یافت و لذا بـه‌نظـر مـی‌رسـد هرچند نظام زراعی گندم– گندم ممکـن اسـت تا حـدی سـبب بهبود درآمد کشاورز شـود، ولـی در

درازمدت سبب کاهش عملکرد گندم خواهد شد. در مقابل، کشت بقولات به‌ویژه عدس و ماشک منجر به تولید بیوماس و عملکرد قابل مقایسه‌ای نسبت به تیمار گندم و آیش شد و لذا پیشنهاد می‌شود این محصولات می‌توانند به‌عنوان گیاهان منتخب جهت جایگزینی آیش در این منطقه مد نظر باشند (**Nezami *et al*., 2013**). نتایج حاصله در سایر مناطق دنیا نیز حاکی از جایگزینی برخی بقولات علوفه‌ای مانند نوعی ماشک در سیستم‌های تناوبی می‌باشد (**Schlegel & Havlin, 1997; Heydarpour *et al*., 2018**). همچنین در مطابقت کامل با نتایج این تحقیق گزارش شد که افزودن بقایای گیاهی (لوبیا و گندم) به خاک باعث افزایش معنی‌دار وزن شاخساره گندم شد. اختلاط بقایای لوبیا با خاک و بقایای لوبیا + سولفات روی بیشترین تأثیر را روی وزن شاخساره گندم داشت و آن را تا حدود یک تن در هکتار نسبت به شاهد افزایش داد، به نظر می‌رسد که افزودن مقدار بیشتر نیتروژن به خاک توسط بقایای لوبیا و **C/N** کمتر بقایای لوبیا باعث افزایش وزن شاخساره گندم شده است (**Baghbani- Arani *et al*., 2018**). همچنین تان (**Tan, 1998**) افزایش عملکرد گندم بر اثر مصرف روی، آهن و منگنز را در مقایسه با عدم مصرف آن به‌ترتیب ۸۶۰، ۷۸۰ و ۵۴۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کرده است.

در تحقیقی نیز گزارش شد که تلقیح با مایکوریزا در شرایط دیم سبب افزایش عملکرد زیستی گندم دوروم شد. به‌طور کلی، ساز و کار جذب آب و عناصر غذایی در گیاهان همزیست با مایکوریزا از طریق افزایش سطح تماس با توده خاک توسط هیف‌ها قارچ، یا به‌عبارت دیگر از طریق افزایش طول موثر ریشه است (**Naserirad *et al*., 2021**).

در مطابقت با نتایج این تحقیق، خاقانی (**Khaghani, 2016**) با مطالعه‌ای روی گیاه جو نشان داد که اثر ساده کاربرد مایکوریزا، آهن و روی بر عملکرد زیستی جو معنی‌دار شد؛ به‌گونه‌ای‌که بالاترین میزان این صفت در تیمارهای مصرف قارچ مایکوریزا، مصرف پنج کیلوگرم در هکتار آهن و ۵۰ کیلوگرم روی در هکتار به‌دست آمد. وی بیان داشت افزایش فتوسنتز و همچنین افزایش هورمون رشد ناشی از مصرف قارچ و از سوی دیگر افزایش مواد مغذی در بافت‌های گیاهی سبب افزایش عملکرد زیستی گیاه می‌شود.

۴-۳. غلظت فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای ساده تناوب و همزیستی مایکوریزایی و همچنین برهمکنش آنها بر غلظت فسفر دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بالاترین غلظت فسفر دانه در تناوب با عدس و ماشک به‌عنوان دو لگوم و در حضور همزیستی مایکوریزایی به‌دست آمد. در هر دو تناوب ماشک و عدس، مایکوریزا موجب افزایش چشمگیر و معنی‌دار غلظت فسفر دانه شد. در کشت متوالی گندم نیز، مایکوریزا موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر دانه شد. در مورد تناوب با کلزا، همزیستی مایکوریزایی با وجود افزایش نسبی، تاثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر دانه نداشت (جدول ۷). با توجه به واکنش قلیایی خاک محل آزمایش به‌نظر می‌رسد که همزیستی مایکوریزایی تاثیر قابل توجهی در افزایش قابل دسترسی گندم به فسفر موجود در خاک و بنابراین جذب بیشتر فسفر توسط دانه داشته است.

گزارش شده است که در یک نظام مایکوریزایی، طول موثر ریشه ممکن است تا ۱۰۰ برابر افزایش یابد (**McGonigle & Miller, 1999**). از آن‌جایی‌که فسفر کمترین تحرک را در بین عناصر غذایی دارد (**Watts-Williams *et al*., 2013**)، بنابراین، به‌نظر می‌رسد مایکوریزا می‌تواند از طریق افزایش سطح جذب ریشه کارایی جذب فسفر در گیاه را نیز افزایش داده و از این طریق در بهبود رشد و افزایش عملکرد گندم موثر واقع شود. با این وجود در برخی موارد گزارش شده است که افزایش بیش از حد کاربرد فسفر در خاک باعث کاهش کلونیزاسیون مایکوریزا با ریشه گیاهان میزبان می‌شود (**Watts-Williams *et al*., 2013**). در رابطه با تاثیرپذیری همزیستی مایکوریزایی از بقایای گیاهی و بالعکس، مطالعات محدودی انجام پذیرفته است. به‌طور کلی مشخص شده‌است که کاربرد فسفر معدنی موجب کاهش کلونیزاسیون مایکوریزایی در ریشه گیاهان می‌شود. اثرپذیری کلونیزاسیون مایکوریزایی از فسفر معدنی را به وجود یا عدم وجود بقایای گیاهی مربوط دانسته‌اند. در این خصوص، گزارش کردند که در حضور بقایای باقلا و نخود، کاربرد فسفر معدنی به فرم کودی، تاثیر بازدارنده بر همزیستی مایکوریزایی با ریشه گندم بر جای نمی‌گذارد (**Hasbullah *et al*., 2011**). در این راستا، بیان شده است که استفاده از بقایای گیاه لگوم لوپن با افزایش قابل توجه در میزان کلونیزاسیون ریشه گندم توسط قارچ مایکوریزا همراه است (**Borie *et al*., 2002**). در تحقیقی گزارش

شد که میزان فیتیک دانه گندم که همبستگی مثبتی با میزان فسفر دانه گندم دارد تحت تاثیر کاربرد بقایای گیاهی قبل از کشت گندم قرار گرفت؛ به‌گونه‌ای‌که گیاهان لگوم (لوبیا و شبدر) نسبت به سورگوم، آفتابگردان و گلرنگ میزان اسیدفیتیک دانه بیشتری تولید کردند و علت آن را بیشتر بودن میزان فسفر موجود در بقایای لوبیا نسبت به سایر تیمارها گزارش کردند (**Dorostkar *et al*., 2012**).

۵-۳. غلظت روی دانه

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای ساده هر یک از فاکتورهای تناوب زراعی، مایکوریزا و سولفات روی بر غلظت روی دانه معنی‌دار بودند (جدول ۳). همان‌گونه‌که در جدول ۴ مشاهده می‌شود وارد کردن دو گونه لگوم عدس و ماشک در تناوب پیش از گندم، با افزایش معنی‌دار غلظت روی دانه در مقایسه با دو الگوی دیگر تناوبی همراه بود. همچنین کاربرد مایکوریزا و سولفات روی سبب افزایش پنج و ۱۸ درصدی غلظت روی دانه شد (جدول‌های ۸ و ۹).

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر مایکوریزا بر وزن سنبله و غلظت روی دانه گندم.

Mycorrhiza	Zinc concentration of seed(%)	Spike weight per plant (mg)
Control	**44.00b**	**2675b**
Mycorrhiza	**46.33a**	**2953a**

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون **LSD** در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۹. مقایسه میانگین اثر سولفات روی بر وزن سنبله و غلظت روی دانه گندم.

Zinc sulfate ($Kg.\ ha^{-1}$)	Zinc concentration of seed (%)	Spike weight per plant (mg)
0	**40.7b**	**2755b**
40	**49.6a**	**2874a**

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون **LSD** در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

کمبود روی یکی از متداول‌ترین کمبود ریزمغذی‌ها در محصولات زراعی به‌ویژه غلات و گیاهان مرتعی در سراسر جهان است که نتیجه آن کاهش شدید عملکرد و کیفیت غذایی محصولات می‌باشد. بیش از ۶۰ درصد خاک‌های زراعی ایران دچار کمبود روی هستند که این باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد محصول شده است. در بیش از ۸۰ درصد خاک های زراعی ایران غلظت روی قابل استفاده از طریق عصاره‌گیری **DPTA** کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می باشد (**Malakouti, 2007**). تحقیقات نشان می‌دهند تلقیح مایکوریزایی سبب افزایش جذب آهن، روی و مس در گیاه جو شده است. همچنین، غلظت روی در بافت‌های گیاهی در تیمار مصرف مایکوریزا نسبت به تیمار مشابه افزایش چشمگیری داشته است. مایکوریزا در شرایط کمبود مواد مغذی تاثیر بسزایی روی تولید گیاه دارد (**Oyetunji *et al*., 2004**). ریشه‌های مایکوریزایی، در مقایسه با ریشه‌های غیر مایکوریزایی میزان روی بیشتری جذب می‌کنند (**Pairunan *et al*., 1980**). در تحقیقی گزارش شد که حضور مایکوریزا غلظت روی را در اندام هوایی بادام‌زمینی ۲۵ تا ۳۵ درصد و در اندام زیرزمینی تا ۲۶ تا ۳۷ درصد افزایش داد؛ این افزایش به تخلیه بیشتر خاک از روی بر اثر نفوذ ریسه‌های نازک قارچی در حفرات ریز خاک نسبت داده شد (**Aghababai *et al*., 2011**). همزیستی مایکوریزایی می‌تواند با افزایش طول ریشه‌ها و همچنین افزایش سطح جذب توسط ریشه‌های قارچی، جذب عناصر غیر متحرک از جمله روی را در گندم افزایش دهد (**Kothari *et al*., 1991**).

در تحقیقی گزارش شد که تأثیر کاربرد بقایای گیاهی به‌همراه سولفات روی و سولفات روی به‌تنهایی بر میزان غلظت روی دانه گندم معنی‌دار شد؛ به‌گونه‌ای‌که کاربرد بقایای گیاهی با سولفات روی، باعث افزایش بیشتر جذب روی نسبت به کاربرد بقایای گیاهی تنها شد و در مقایسه با شاهد (بدون بقایا) افزایش معنی‌داری داشته است؛ به‌طوری‌که بیشترین افزایش غلظت روی دانه گندم در

تیمار کاربرد بقایای لوبیا + سولفات روی (۳۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) دیده شد. همچنین این تأثیر در تیمار بقایای مختلف (بقایای گندم در مقایسه با بقایای لوبیا) متفاوت بود؛ به‌طوری‌که تیمار بقایای لوبیا غلظت روی دانه گندم را بیش از تیمار بقایای گندم افزایش داد (**Baghbani- Arani *et al*., 2018**).

تحقیقات نشان داده است غلظت فلزات مس و روی در دانه گندم با به‌کار بردن مواد آلی در خاک، صرف نظر از نوع ماده آلی، افزایش یافت. این افزایش می‌تواند دلالت بر این داشته باشد که وقتی فلزات توسط ریشه جذب شدند، به‌راحتی از ساقه به دانه انتقال داده می‌شوند (**Narwal & Singh, 1998**). بقایای گیاهی به‌دلیل اثرات مثبتی که بر پراکنش ریشه، رشد گیاه و ... دارند، می‌توان**k**د بر جذب روی توسط گیاه اثرگذار باشند (**Alberta, 1995**). همچنین تیمار سولفات روی نسبت به شاهد در غلظت روی دانه افزایش معنی‌داری داشت. محققان همبستگی معنی‌داری بین مقدار عنصر روی در خاک با مقدار روی در دانه گندم گزارش کردند (**Bansal *et al*., 1990**). با این وجود در همه تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش میزان غلظت روی در دانه کمتر از ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است که این میزان غلظت روی به‌عنوان حد بحرانی برای کیفیت دانه بود (**Cakmak, 2008**). احتمالاً عدم رسیدن به حد مطلوب غلظت روی در دانه گندم به‌دلیل کم‌بودن غلظت اولیه روی در خاک به‌دلیل **pH** قلیایی خاک می‌باشد که در ارتباط با همین موضوع محققان گزارش کرده‌اند که مهمترین عامل تعیین‌کننده غلظت روی در دانه، غلظت اولیه این عنصر در خاک می‌باشد (**Wissuma *et al*., 2007**).

ییلماز و همکاران (**Yilmaz *et al*., 1997**) با استفاده از روش‌های مختلف مصرف سولفات روی در ارقام مختلف گندم مشاهده کردند که مصرف سولفات روی نه تنها عملکرد را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد، بلکه غلظت این عنصر در دانه گندم هم افزایش یافته و سبب غنی‌شدن دانه می‌شود. همچنین سدری و ملکوتی (**Sadri & Malakouti, 1999**) مشاهده کردند در مناطقی که روی قابل جذب خاک، کمتر از ۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، مصرف سولفات روی به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم داشت؛ به‌طوری‌که با مصرف این کود به‌طور میانگین ۴۴۵ کیلوگرم افزایش عملکرد به‌دست آمد. همچنین در تحقیقی گزارش شد که کاربرد سولفات روی در خاک بر عملکرد دانه و غلظت روی دانه گندم معنی‌دار شد و در تیمارهایی که بقایای گیاهی به‌همراه سولفات روی به خاک اضافه شده بود، افزایش معنی‌داری در صفات مذکور نسبت به شاهد و تیمارهای بقایای گیاهی و سولفات روی تنها داشت و هم‌راستا با نتایج این تحقیق، بیان کردند که کاربرد عنصر روی به همراه بقایای گیاهی (خصوصا یونجه و شبدر) می‌تواند باعث افزایش بیشتر غلظت روی و پارامترهای کیفی دانه گندم شود (**Baghbani Arani *et al*., 2018**). در این تحقیق نیز، بالاترین درصد روی دانه در تیمارهایی که در تناوب بقولات (عدس و ماشک) قرار داشتند مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد روی کلات‌شده با بقایای گیاهی به‌جای‌مانده در تناوب، نقش موثرتری در جذب روی توسط گیاه دارد و همچنین بقایای گیاهی بقولات خصوصا عدس به‌دلیل تجزیه‌پذیری و کلات‌کنندگی بیشتر روی و اثرات مثبت در پراکنش ریشه، رشد گیاه و ... توانسته در جذب روی توسط گیاه اثرگذارتر باشد (**Alberta, 1995**).

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، بالاترین عملکرد گندم در تناوب با ماشک و در حضور همزیستی مایکوریزایی به‌دست آمد. با کاربرد مایکوریزا به‌عنوان نهاده زیستی نیاز به کاربرد کودهای شیمیایی تا حد قابل توجهی برطرف شده و گندم واجد همزیستی مایکوریزایی، عملکرد بالاتری را تولید کرد. در همه الگوهای تناوبی مایکوریزا با افزایش عملکرد همراه بود. در مجموع بالاترین عملکرد کمی و کیفی در تناوب ماشک–گندم با اعمال همزیستی مایکوریزایی به‌دست آمد. بالاترین غلظت فسفر دانه در تناوب با عدس و ماشک و در حضور همزیستی مایکوریزایی مشاهده شد. در هر دو تناوب ماشک و عدس، مایکوریزا موجب افزایش چشمگیر غلظت فسفر دانه شد. همچنین کشت دو گونه لگوم عدس و ماشک در تناوب پیش از گندم، موجب افزایش غلظت روی دانه در مقایسه با دو الگوی دیگر تناوبی (کشت متوالی گندم و تناوب کلزا–گندم) شد. مایکوریزا و سولفات روی هر کدام موجب افزایش غلظت روی دانه شدند (میانگین غلظت روی در تیمارهای دارای سولفات روی ۴۹/۶ میلی‌گرم بود که در مقایسه با ۴۰/۷ میلی‌گرم در تیمارهای بدون سولفات روی، تفاوت چشمگیری را نشان می‌دهد. میانگین غلظت روی در تیمارهای مایکوریزایی حدود ۴۷ میلی‌گرم بود که در

مقایسه با ۴۴ میلی‌گرم در تیمارهای بدون مایکوریزا، سطحی از افزایش را نشان می‌دهد). با توجه به اثرگذاری جامع‌تر مایکوریزا در زمینه افزایش عملکرد دانه، غلظت فسفر دانه و نیز تاثیر نسبی در افزایش غلظت روی دانه، مایکوریزا تا حد زیادی نیاز به کاربرد سولفات روی (خاک‌مصرف) را از میان می‌برد. در مجموع، اجرای الگوی تناوبی ماشک–گندم و در وهله بعدی عدس –گندم همراه با کاربرد مایکوریزا در هنگام کاشت به‌عنوان الگوی موثر از نظر عملکرد کمی و کیفی با کمترین کاربرد نهاده‌های شیمیایی، قابل پیشنهاد می‌باشد. همچنین بقایایی گیاهی لگوم (ماشک و عدس) نسبت به دو گونه دیگر (گندم و کلزا)، نقش موثرتری بر رشد و عملکرد و همچنین غلظت عناصر غذایی در گیاه گندم داشته است و بقایایی با سرعت تجزیه‌پذیری بیشتر مانند لگوم می‌تواند در مدت زمان کمتری تاثیر خود را نشان دهد و برای گیاهانی با دوره رشد کمتر (مثلا شرایط دیم) باید از بقایای با سرعت تجزیه‌پذیری بالا استفاده کرد.

۵. منابع

Abiven, S., Recous, S., Reyes, V., & Oliver, R. (2005). Mineralisation of C and N from root, stem and leaf residues in soil and role of their biochemical quality. *Biology and Fertility of Soils, 42,* 119–128.

Aghababai, F., Raisi, F., & Nadian, H.A. (2011). The effect of mycorrhizal symbiosis on nutrient absorption by some commercial genotypes of almond plant in a sandy loam soil. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences), 25*(2), 136-147. (In Persian).

Akbari, F., Puri, K., Kamkar, B., & Aalimaqam, M. (2013). The effect of wheat, alfalfa, corn, soybean and cotton residues on soil potassium content and its absorption in wheat. *Journal of Agricultural Ecology, 3,* 163-171. (In Persian).

Alberta, E. (1995). Stubble burning. Columbia Basin Agricultural Research. *Annual Report,* Pp. l05- 109.

Alizadeh, A., Majidi, A., & Normohamadi, G. (2008). Effect drought stress and soil nitrogen on nutrient uptake in zea (704 cv). *Journal Research in Agriculture, 4,* 51-59.

Baghbani Arani, A., Modares Sanavi, S.A.M., Kadkhodai, A., & Mohammadi, M. (2018). Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) residues and zinc sulfate application on yield and some chemical characteristics of wheat grain. *Plant Production Technology, 19*(1), 67-78. (In Persian).

Bahrani, A., Pourreza, J., & Haghjoo, M. (2010). Response of winter wheat to co-inoculation with azotobacter and arbascular mycorrhizal fungi (AMF) under different sources of nitrogen fertilizer. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science, 8*(1), 95-103.

Bansal, R.L., Taklear, P.N., Bhandari, A.l., & Rana, D.S. (1990). Critical levels of DTPA extractable Zn for wheat in alkaline soils of semiarid region of Punjab, India. *Fertilizer Research, 21*(3), 163-170.

Borie, F., Redel, Y., Rubio, R., Rouanet, J.L., & Barea, J.M. (2002). Interactions between crop residues application and mycorrhizal developments and some soil–root interface properties and mineral acquisition by plants in an acidic soil. *Biology and Fertility of Soils, 36,* 151–160.

Broadley, M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist Journal. 173,* 677-702.

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil, 302,* 1-17.

Cakmak, I., Pfeiffer, W.H., & McClafferty, B. (2010). Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry, 87,* 10–20.

Cavagnaro, T.R., Langley, A.J., Jackson, L.E., Smukler, S.M., & Koch, G.W. (2008). Growth, nutrition, and soil respiration of a mycorrhiza-defective tomato mutant and its mycorrhizal wild-type progenitor. *Functional Plant Biology, 35,* 228-235.

Cayuela, M.L., Sinicco, T., & Mondini, V. (2009). Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residues in soil. *Applied Soil Ecology, 48,* 118–127.

Dayegamiye, A., Nyiraneza, J., Whalen, J.K., Grenier, M., & Drapea, A. (2012). Growing soybean prior to corn increased soil nitrogen supply and N fertilizer efficiency for corn in cold and humid conditions of Eastern Canada. *Sustainable Agriculture Research, 1,* 257–267

Dayegamiye, A., Joann, K., Whalen, J.K., Tremblay, G., Judith, Nyiraneza, J., Grenier, M., Drapeau, A., & Bipfubusa, M. (2015).The benefits of legume crops on corn and wheat yield, nitrogen nutrition, and soil properties improvement. *Agronomy Journal, 107,* 1653–1665.

Dorostkar, V., Efioni, M., & Khoshgovarmanesh, A.M. (2012). Effect of application of some pre-sowing plant residues on total and absorbable zinc concentration and acidphytic concentration in wheat grain. *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources, 64,* 81-93. (In Persian).

FAO (2017). FAOSTAT, Food and agriculture organization. Rome.

Griffin, T., Liebman, M., & Jemison, J. (2000). Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. *Agronomy Journal, 92*, 144–151.

Hacisalihoglu, G., & Kochian, L.V. (2003). How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. *New Phytologist Journal, 159*, 341-350.

Hasbullah, Marschner, P., & McNeill, A. (2011). Legume residue influence arbuscular mycorrhizal colonisation and P uptake by wheat. *Biology and Fertility of Soils, 47*, 701–707.

Heydarpour, N., Namdari, A., & Baghbani-Arani, A. (2018). Evaluation of quantitative yield and some physical properties of soil in three years mixed barley (Khorram)-vetch forage (*Vicia sativa*) cropping system under rain-fed conditions. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 28*(4), 1-13. (In Persian).

Imam, Y., Ahmadi, A., & Pasrak Lee, M. (2010). The effect of different tillage methods combined with the management of plant residues and nitrogen levels on the yield and yield components of rainfed wheat (Augusta number) in the conditions of Fars province. *Iranian Crop Science Quarterly, 41*, 841-850. (In Persian).

Jansa, J., Mozafar, A., & Frossard, E. (2003). Long-distance transport of P and Zn through the hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus in symbiosis with maize. *Agronomy, 23*, 481-488.

Khaghani, S. (2016). The effects of micro elements of iron and zinc on morphological characteristics of mycorrhized barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Crop Ecophysiology, 10*(2), 339-352. (In Persian).

Khoshgoftarmanesh, A.H., Schulin, R., Chaney, R.L., Daneshbakhsh, B., & Afyuni, M. (2010). Micro nutrient efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development, 30*, 83-107.

Kothari, S.K., Marschner, H., & Romheld, V. (1991). Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant and Soil, 131*, 177–185.

Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R.J., Castillo, J.E., & Lopez-Bellido, F.J. (2001). .Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. *Field Crops Research, 72*, 197–210.

Malakouti, M.J. (2007). Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology, 1*(1), 1-12.

McGonigle, T.P., & Miller, M.H. (1999). Winter survival of extraradical hyphae and spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the field. *Applied Soil Ecology, 12*, 41-50.

Mohammad, M.J., Pan, W.L., & Kennedy, A.C. (2005). Chemical alteration of the rhizosphere of the mycorrhizal-colonized wheat root. *Mycorrhiza, 15*(4), 259–266.

Narwal, R.P., & Singh, B.R. (1998). Effect of organic materials on partitioning, extractability and plant uptake of metals in an alum shale soil. *Water Air Soil Pollution, 103*, 405-421.

Naseri, R., Berari, M., Zare, M.J., Khawazi, K., & Tahasabi, Z. (2017). The effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on the accumulation of nutrients in the aerial parts of dryland wheat. *Journal of Applied Researches of Plant Ecophysiology, 4*(2), 1-28. (In Persian).

Naserirad, H., Naseri, R., Mirzeai, A., & Zarei, B. (2021). Study of the effects of phosphorous and mycorrhiza on yield and yield components of durum wheat under rainfed condition. *Applied Research in Field Crops, 34*(3), 43-68. (In Persian).

Nezami, A., Bagheri, R., Azim-Zadeh, M., Mahmoudi, A., & Bozorgmehi, A. (2013). Evaluation of legumes as substituting crops for fallow in wheat-based rotation on North Khorasan province. *Iranian Journal of Pulses Research, 4*(1), 21-30. (In Persian).

Ortas, I. (2012). Do maize and pepper plants depend on mycorrhizae in terms of phosphorus and zinc uptake? *Journal of Plant Nutrition, 35*(11), 1639–1656.

Oyetunji, O.J., IEkanayake, J., Osonubi, O., & Lyasse, O. (2004). Cassava macro- and micronutrient uptake and partitioning in alley cropping as influenced by *Glomus* spp. in sub-humid tropics and its impact on productivity. The International Institute of Tropical Agriculture.

Pairunan, A.K., Robson, A.D., & Abbott, L.K. (1980). The effectiveness of vesicular arbuscular mycorrhiza in increasing growth and phosphorus uptake of subterranean clover from phosphorus of different solubilities. *New Phytologist, 84*, 327-338.

Prasad, B. (1999). Conjoint use of fertilizers with organics, crop residues and green manuring for their efficient use in sustainable crop production. *Fertilizer Research, 44*, 67-73.

Prasad, B., & Sinha, S.K. (1995). Nutrient recycling through crop residues management for sustainable rice and wheat production in calcareous soil. *Fertilizer Research, 40*, 11-15.

Sadri, M.H., & Malkouti, M.J. (1999). Investigating the effect of iron, zinc and copper consumption in improving the quantitative and qualitative characteristics of blue wheat. *Publication of Agricultural Education*, 169-189. (In Persian).

Schlegel, A.J., & Havlin, J.L. (1997). Green fallow for the central great plains. ***Agronomy Journal, 89,*** **792-767.**

Shi, R., Zhang, Y., Chen, X., Sun, Q., Zhang, F., Rcemheld, V., & Zou, C. (2010). Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). ***Journal of Cereal Science, 51,*** **165–170.**

Singh, B., Rengel, Z., & Bowden, J.W. (2004). Canola residues decomposition: The effect of particle size on microbial respiration and cycling of sulphur in a sandy soil. 3rd Australian New Zealand Soils Conference, 5 – 9 December 2004, University of Sydney, Australia.

Smith, F.A., & Smith, S.E. (2011). What is the significance of the arbuscular mycorrhizal colonisation of many economically important crop plants? ***Plant Soil, 348,*** **63-79.**

Treseder, K. (2013). The extent of mycorrhizal colonization of roots and its influence on plant growth and phosphorus content. ***Plant Soil, 371,*** **1–13.**

Wahbi, S., Maghraoui, T., Hafidi, M., Sanguim, H., Oufdou, K., & Prin, Y. (2016). Enhanced transfer of biologically fixed N from faba bean to intercropped wheat through mycorrhizal symbiosis. ***Applied Soil Ecology, 107,*** **91-98.**

Wang, B., & Qiu, Y.L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. ***Mycorrhiza, 16,*** **299-363**

Watts-Williams, S.J., Patti, A.F., & Cavagnaro, T.R. (2013). Arbuscular mycorrhizas are beneficial under both deficient and toxic soil zinc conditions. ***Plant Soil, 371,*** **299–312.**

White, P.J., & Broadley, M.R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets e iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. ***New Phytologist, 182,*** **49-84.**

Wissuma, M., Ismail, A.M., & Graham, R.D. (2007). Rice grain zinc concentrations as affected by genotype, native soil-zinc availability, and zinc fertilization. ***Plant and Soil, 306,*** **37-48.**

Yilmaz, A., Ekiz, H., Gultekin, I., Torun, B., Karanlik, S., & Cakmak, I. (1998). Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc-deficient calcareous soils. ***Journal of Plant Nutrition, 21,*** **2257–2264.**

Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Guttekin, I., Karanlik, S., Bagci, S.A., & Cakmak, I. (1997). Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc deficient calcareous soils. ***Journal of Plant Nutrient, 20,*** **461-471.**

Zhang, Y.Q., Deng, Y., Chen, R.Y., Cui, Z.L., Chen, X.P., Yost, R., Zhang, F.S., & Zou, C.Q. (2012). The reduction in zinc concentration of wheat grain upon increased phosphorus-fertilization and its mitigation by foliar zinc application. ***Plant Soil, 361,*** **143-152.**

Ziaian, A.H., & Malkouti, M.J. (1999). The effect of iron consumption on wheat production in a number of highly calcareous soils of Fars province. ***Scientific Research Journal of Soil and Water Research Institute, 12*****(13), 77-89. (In Persian).**