



The effect of tillage systems and residue management on the optimal use of phosphorus in safflower cultivation under saline conditions

Akbar Gandomkar¹ | Fatemeh Khayamim²

1. Department of Soil and Water Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, AREEO, Isfahan, Iran. E-mail: deligani@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Soil and Water Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, AREEO, Isfahan, Iran. E-mail: f.khayamim@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Oct. 13, 2024

Revised: Jan. 18, 2024

Accepted: Jan. 25, 2024

Published online: May. 2025

Keywords:

Plant Residues,
Safflower,
Tillage,
Triple Superphosphate.

ABSTRACT

The present research investigated the effect of plant residues, different tillage techniques, and phosphorus Fertilizer application on safflower crop yield over two years at the Kabutarabad Agricultural Research Station in Esfahan, which has silty clay loam soil. The experiment was conducted as a one-time split plot with a randomized complete block design and three replications. The main treatments included no-tillage, reduced tillage, and conventional tillage. Sub-treatments included four levels of zero, 50, 75, and 100 percent of the recommended phosphorus fertilizer based on soil tests for each tillage level. The biological yield, seed yield, phosphorus concentration in both leaves and seeds, and absorbable soil phosphorus were measured. The highest increase in absorbable soil phosphorus was noted in the surface soil of no-tillage and reduced-tillage plots, respectively. The application of triple superphosphate significantly increased the mean absorbable soil phosphorus from 3.5 to 25.3 mg/kg. A significant increase in biological yield (16.3 tons per hectare) and safflower seed yield (1.5 tons per hectare) was observed in the treatment with 75% of the recommended phosphorus fertilizer. The net phosphorus uptake by safflower rose from 17.6 kg/ha in the control treatment to 37.6 kg/ha in the 100% fertilizer recommendation treatment. A notable increase in safflower seed yield and total yield was achieved through the presence of plant residues and the use of reduced-tillage and no-tillage methods in conditions of water and soil salinity, indicating the superiority of these methods compared to conventional tillage. The application of 75% of the recommended phosphorus fertilizer was adequate for safflower planting across all tillage types; this level of phosphorus was sufficient. The application was equivalent to a 100% fertilizer recommendation.

Cite this article: Gandomkar, A. & Khayamim, F. (2025). The effect of tillage systems and residue management on the optimal use of phosphorus in safflower cultivation under saline conditions, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (3), 631-648. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.383497.669813>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.383497.669813>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Conservation agriculture is recommended as a technique for sustainable crop production, based on minimal soil disturbance, crop rotation, and maintaining crop residues as soil cover. Most of our country is covered by arid and semi-arid climates, and the lack of sufficient water resources has led to the salinity of agricultural lands. In saline lands, in addition to the insignificance of soil organic matter, soil salinity also strongly affects plant growth, and the amount of chemical fertilizers used in these conditions differs from non-saline conditions. On the other hand, the amount of fertilizer used in conservation tillage is different compared to conventional tillage. Therefore, investigating the optimal application of Phosphorus fertilizers under different tillage systems is significant.

Objective

The objective of the current research was to investigate the effect of the type of tillage system, residue management, and the amount of phosphorus fertilizer consumption on the yield and agricultural characteristics of the safflower *Carthamus tinctorius* L. under saline conditions.

Materials and methods

This research was performed during the two cropping years of 2019-2020 and 2020-2021 at the Kabutrabad Agricultural Research Station. The experiment was carried out in one-time split plots with a randomized complete block statistical design with three replications. The main treatment included three levels: no tillage, reduced tillage, and conventional tillage. Sub-treatments included four levels of zero, 50, 75, and 100 percent of recommended phosphorus fertilizer based on soil test (215 kg ha⁻¹ of triple superphosphate) in each tillage level. Conventional tillage consisted of reversible plowing in addition to two stages of the cross disc, reduced tillage only included two times of chisel application, and no-tillage treatment included direct planting with a seeder-colter machine. All plant residues were removed in conventional tillage plots. In the plots with reduced and no-tillage, only the standing remains of the crop were kept and the rest of the remains were removed from the ground. The biological yield, seed yield, phosphorus concentration in leaves and seeds, and absorbable soil-phosphorus were measured.

Results

The highest increase in the amount of absorbable soil phosphorus was measured in the surface soil of no-tillage and *reduced*-tillage plots, respectively. The application of triple superphosphate leads to a significant increase in the average absorbable soil phosphorus (0-30 cm depth) from 3.5 to 25.3 mg/kg. A substantial increase in biological yield (16.3 tons per hectare) and safflower seed (1.5 tons per hectare) was obtained in the treatment of 75% of the recommended phosphorus fertilizer (application of 161 kg/hectare of triple superphosphate). The net phosphorus uptake by safflower increased from 17.6 kg/ha in the control treatment to 37.6 kg/ha in the 100% fertilizer recommendation treatment. A significant increase in safflower seed and total yield was obtained by the presence of plant residues and the use of *reduced*-tillage and no-tillage methods in conditions of water and soil salinity, which indicated the superiority of *reduced-tillage* and no-tillage methods compared to conventional tillage.

Conclusion

The present research results indicated that the safflower seed and total yield in *reduced*-tillage and no-tillage systems were significantly more than conventional tillage. The application of 75% recommended phosphorus fertilizer was sufficient in planting safflower in all types of tillage because this level of phosphorus application was equivalent to 100% fertilizer recommendation.

Author Contributions

Akbar Gandomkar: Conceptualization, Methodology, Supervision, Project administration, Review and editing.

Fatemeh Khayamim: Writing-original draft, Writing-review and editing, Data curation, Software

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgments

The authors would like to thank the reviewers and editor for their critical comments that helped to improve the paper. The authors gratefully acknowledge the support provided by the manager and colleagues of the Kabutrabad Station of the Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest

تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی، مدیریت بقایا و مصرف کود فسفر بر عملکرد گلرنگ تحت شرایط شوری

اکبر گندمکار^۱، فاطمه خیامیم^۲^۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،اصفهان، ایران. رایانامه: deligani@gmail.com^۲. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش وترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: f.khayamim@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر وجود بقایای گیاهی ایستاده، روش‌های مختلف خاک‌ورزی و مقدار مصرف کود فسفر بر عملکرد محصول گلرنگ، به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان در یک خاک لومرسی‌سیلتی انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بارخرد شده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمار اصلی شامل سه سطح بدون خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و شخم مرسوم بود. تیمارهای فرعی شامل چهار سطح صفر، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی فسفر بر مبنای آزمون خاک در هر کدام از سطوح خاک‌ورزی بودند. مقادیر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، غلظت فسفر در برگ و دانه و فسفر قابل دسترس خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بیشترین افزایش مقدار فسفر قابل دسترس خاک به ترتیب در خاک سطحی کرت‌های بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی مشاهده شد. کاربرد سوپرفسفات تریپل موجب افزایش معنی‌دار میانگین فسفر قابل دسترس خاک از ۳/۵ به ۲۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم شد. افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک (۱۶/۳ تن در هکتار) و دانه گلرنگ (۵/۱ تن در هکتار) در تیمار ۷۵ درصد توصیه کودی فسفر بدست آمد. خالص برداشت فسفر توسط گلرنگ از ۱۷/۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۳۷/۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۱۰۰ درصد توصیه کودی افزایش یافت. با وجود بقایای گیاهی و انجام روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی در شرایط شوری آب و خاک، افزایش معنی‌دار عملکرد کل و دانه گلرنگ بدست آمد که نشان‌دهنده برتری روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم بود. در کاشت گیاه گلرنگ کاربرد ۷۵ درصد کود فسفوری کافی بود چرا که در تمام انواع خاک‌ورزی این سطح از کاربرد فسفر عملکردی معادل ۱۰۰ درصد توصیه کودی داشت.
واژه‌های کلیدی:	
بقایای گیاهی،	
خاک‌ورزی،	
گلرنگ،	
سوپر فسفات تریپل.	

استناد: گندمکار، اکبر؛ خیامیم، فاطمه، (۱۴۰۴). تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی، مدیریت بقایا و مصرف کود فسفر بر عملکرد گلرنگ تحت شرایط شوری، مجله تحقیقات آب و

خاک ایران، ۵۶ (۳)، ۶۴۸-۶۳۱ <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.383497.669813>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.383497.669813>

مقدمه

کشاورزی حفاظتی به عنوان تکنیکی برای تولید محصول پایدار توصیه می‌شود که بر اساس حداقل بهم‌ریختگی خاک، تناوب زراعی و حفظ بقایای محصول به عنوان پوشش خاک بنا شده است و همزمان منابع خاک و آب را حفظ کرده و هزینه‌های ورودی را کاهش می‌دهد (Jiang et al. 2011; Zhang et al. 2018). در این نوع کشاورزی تأکید بر به حداکثر رساندن تولید نیست بلکه بهینه‌کردن استفاده از منابع و پایدار نمودن تولید در یک دوره طولانی‌مدت، مد نظر است. خاک‌ورزی مرسوم علاوه بر صدماتی که به اکوسیستم و ساختمان خاک وارد می‌کند، هزینه بسیار بالایی نیز برای اکوسیستم کشاورزی دارد. گسترش عملیات کشاورزی حفاظتی در حال حاضر رو به افزایش بوده و به بیش از ۱۵۵ میلیون هکتار در جهان رسیده است (Kassam et al. 2008). در ایران کشاورزی حفاظتی از حدود ۴۰ سال قبل به منظور تولید اقتصادی محصولات به کشاورزان معرفی شده و در حال گسترش است (اشرفی زاده، ۱۳۹۵). روش بدون خاک‌ورزی (NT) همراه با تناوب زراعی و حفظ بقایای محصول، کیفیت خاک را با کاهش تخریب خاکدانه‌های خاک و فرسایش خاک، محافظت از خاک در برابر قطرات باران و همچنین افزایش نرخ نفوذ، چرخه عناصر غذایی و کربن آلی خاک افزایش می‌دهد (Busari et al. 2015; Zhang et al. 2018). افزایش کربن آلی خاک و پایداری خاکدانه‌ها پس از اجرای خاک‌ورزی حفاظتی در تنظیم حرکت آب و گاز، چرخه عناصر غذایی و رفتار کلی خاک مهم است (Liu et al. 2015). استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی CA برای افزایش حاصلخیزی خاک و در دسترس بودن عناصر غذایی گزارش شده است (Zhang et al. 2018a; Zhang et al. 2018b; Dang et al. 2015). به طور کلی در کشاورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم CT، مقادیر قابل استفاده نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) افزایش می‌یابند (فروهر و کشاورز، ۱۳۹۹). نیتروژن موجود در بقایای گیاهی به شکل آلی است و تنها طی فعالیت‌های میکروبی خاص و فرآیند معدنی‌شدن، برای گیاه قابل استفاده است. خاک‌ورزی شدید در کشاورزی متداول از طریق زیروروکردن خاک، ضمن افزایش تهویه خاک، باعث تجزیه بقایای گیاهی و معدنی‌شدن نیتروژن آلی موجود در آنها و دسترسی آن برای گیاه در کوتاه مدت می‌شود. درحالی‌که کم‌خاک‌ورزی یا بی‌خاک‌ورزی در کشاورزی حفاظتی باعث تجزیه آهسته‌تر بقایای گیاهی شده و آزادسازی تدریجی نیتروژن را به دنبال دارد. در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی علاوه بر اینکه مصرف نواری کودهای فسفره باعث افزایش مقدار فسفر در لایه‌های سطحی خاک می‌شود، حفظ و تجمع بقایای گیاهی در سطح خاک و فسفر آزادشده از این بقایای گیاهی در لایه‌های بالایی خاک نیز افزایش مقدار فسفر قابل استفاده را در این لایه‌ها به دنبال دارد. به این ترتیب که، مقدار فسفر در لایه‌های سطحی، بیشتر از لایه‌های زیرین خواهد بود. نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهد که در سامانه کشاورزی حفاظتی، بیشترین تجمع فسفر خاک در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری خاک است درحالی‌که در سامانه کشاورزی مرسوم (شخم شدید و عدم حفظ بقایا) این تجمع در عمق ۵ تا ۱۵ سانتی‌متری است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که علیرغم لایه‌بندی آشکار پتاسیم در نیم‌رخ خاک در سیستم کشت بدون شخم، پخش سطحی کودپتاسیمی، برای تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه مناسب است و جذب پتاسیم توسط گیاه در این حالت برابر یا بیشتر از جذب پتاسیم در سیستم کشاورزی مرسوم است (فروهر و کشاورز، ۱۳۹۹).

فسفر، به عنوان یک عنصر غذایی ضروری، در فتوسنتز، ترقق و رشد ریشه گیاهان بسیار مهم است (Lopez et al. 2023; Prathap et al. 2022). با تخریب اکوسیستم‌های کشاورزی، فسفر به دلیل هوازدگی فسفر معدنی اولیه و از بین رفتن قابل توجه کمپلکس‌های آلی در طی فرآیندهای انباشت ثانویه، به یک منبع محدود و غیر قابل تجدید تبدیل شده است (Huang et al. 2017). کاربرد خاک‌ورزی حفاظتی با افزایش عملکردهای بیولوژیکی خاک، از جمله فعالیت فسفاتاز، زیست‌توده میکروبی و فراوانی جوامع میکروبی حل‌کننده فسفات همراه است (Bolo et al. 2021). در شرایط بدون خاک‌ورزی، تجمع مواد آلی در لایه‌های سطحی خاک دست نخورده بر نحوه توزیع فسفر خاک مؤثر بوده است. بدون شک، تجزیه بقایای گیاه پوششی می‌تواند تا حدودی به عنوان منبع تجمع فسفر خاک عمل کند (Pavinato et al. 2009). در خاک‌های آهکی فسفر محلول موجود در کودهای فسفوری، خیلی سریع با کلسیم واکنش داده و بصورت فسفات‌های کلسیم رسوب نموده و از دسترس گیاه خارج می‌گردد. به دلیل شیمی پیچیده فسفر در خاک، بازیابی فسفر در سال اول هشت تا ۳۰ درصد و به ندرت پس از ۳۰ سال به ۵۰ درصد، می‌رسد و بقیه آن در خاک تثبیت شده و به شکل غیر قابل دسترس گیاه تجمع می‌یابد. در پژوهشی در برزیل، اجرای سیستم بی‌خاک‌ورزی به مدت ۵ سال کل فسفر موجود در لایه ۱۰ سانتی‌متری خاک را تا ۱۵ درصد نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش داد (Selles et al. 1997). (Kopitke et al. 2018) با بررسی خاک مزرعه‌ای که به مدت ۷۰ سال،

کود فسفوری کمی به آن اضافه شده بود، گزارش نمودند که مقدار فسفر آلی خاک با گذشت زمان، ۲۰ تا ۳۶ درصد کاهش پیدا نمود. بر خلاف آن، فسفر معدنی به نسبت ثابت ماند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که لازم است فسفوری که توسط محصول گندم از خاک برداشت می شود (۳/۲ تا ۱۸/۶ کیلوگرم در هکتار در سال)، جبران شود. حشمتی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که اثر بهینه کودهای شیمیایی فسفر حتی در شرایط کم آبی و در مرحله رشد زایشی گیاه گلرنگ می تواند در جلوگیری از کاهش عملکرد دانه سودمند باشد. شخم مرسوم موجب از بین رفتن شبکه قارچ های میکوریزای موجود در خاک می شود. این پژوهشگران بیان کردند که تلقیح گندم با میکوریزا موجب کاهش مصرف فسفر در خاکورزی حفاظتی و افزایش عملکرد گندم شده است. در بررسی انجام شده توسط بلور و همکاران (۱۳۹۳) بر روی تأثیر سیستم های مختلف خاکورزی بر عناصر غذایی خاک، بالاترین میزان فسفر در خاک بر اثر اجرای سیستم کم و بدون خاکورزی مشاهده شد. اشرفی زاده (۱۳۹۵) کاشت بدون خاکورزی گندم در زمین های زیر کشت نیشکر خوزستان نشان داد که میانگین عملکرد گندم روی بستر جوی و پشته به جا مانده از کشت قبلی یعنی نیشکر، در حدود ۲۵ درصد بیشتر از تیمارهای خاکورزی مرسوم بوده است. عنابی میلانی و سالک زمانی (۱۳۹۴) نتیجه گرفتند که اثر تیمارهای خاکورزی بر آب قابل استفاده گیاه و عملکرد محصول گلرنگ از نظر آماری معنی دار نبود. امینی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی تأثیر روش های مختلف خاکورزی و سطوح مختلف بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم شیروودی، در منطقه رامجرد شهرستان مرودشت پرداختند. نتایج آنها نشان داد که کاربرد نوع خاکورزی تأثیر معنی داری بر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه داشت. بیشترین عملکرد دانه در روش کم خاکورزی و کاربرد ۳۰ درصد بقایا در سطح خاک به دست آمد. Fileccia (2009) به بررسی و تجزیه و تحلیل یک دوره بلند مدت ۱۴ ساله بر روی عملکرد گندم بعد از تغییر سیستم از خاکورزی معمول به بدون خاکورزی پرداخت. نتایج نشان از برتری ۲۸ درصدی سیستم بدون خاکورزی داشت.

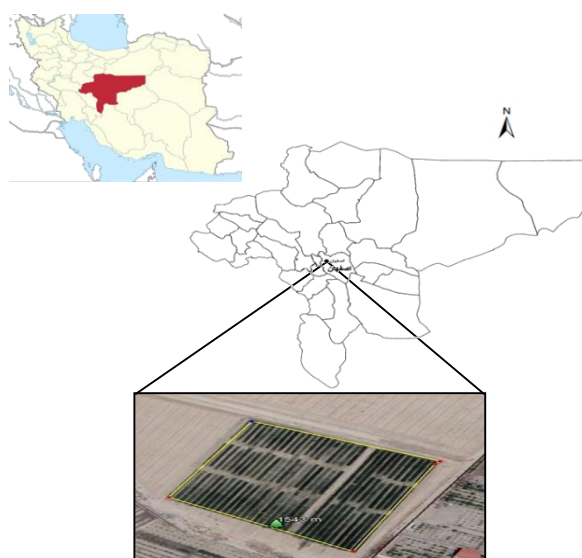
گلرنگ با نام علمی *Carthamus tinctorius L.* گیاهی از تیره کاسنی است. این گیاه بومی ایران و منطقه خاورمیانه است. در سال ۲۰۲۰ سطح زیر کشت، میزان تولید و میانگین عملکرد دانه گلرنگ در جهان به ترتیب ۸۱۷ هزار هکتار، ۶۵۳ هزار تن و ۷۹۹/۶ کیلوگرم در هکتار بوده است (فائو، ۲۰۲۲). طبق آمارنامه جهاد کشاورزی کشور، سطح زیر کشت گلرنگ در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱، ۷۹۰۰ هکتار بوده است و بر اساس برنامه ریزی های صورت گرفته قرار است در افق ۱۴۰۴ سطح زیر کشت این محصول به ۴۰ هزار هکتار نیز برسد (اداره کل پنبه، دانه های روغنی و گیاهان صنعتی، ۱۳۹۳). دلیل افزایش کشت گلرنگ در کشور به ویژه در استان های فارس و اصفهان، خشکسالی سال های اخیر و شوری زمین های کشاورزی است. گلرنگ نیز با خصوصیات مطلوب زراعی نظیر تحمل نسبی به شوری خاک و خشکی، تحمل بالا به سرمای زمستانه (تیپ پاییزه) همواره به عنوان یک دانه روغنی با ارزش برای کشت در مناطق خشک کشور مورد توجه بوده است (جباری و همکاران، ۱۴۰۲).

با توجه به اینکه بخش اعظم کشورمان را اقلیم خشک و نیمه خشک فراگرفته است، عدم وجود منابع آب کافی منجر به شوری اراضی کشاورزی شده است. بر اساس مطالعات و بررسی های انجام شده، سطح اراضی کشاورزی کشور حدود ۱۸/۵ میلیون هکتار است. از این مقدار، حدود ۸/۶ میلیون هکتار آن با محدودیت های مختلف و به ویژه شوری روبرو است و تنها حدود ۲/۱ میلیون هکتار آن بدون محدودیت است (سعادت، ۱۳۹۸). بر اساس نقشه شوری خاک های کشاورزی ایران، حدود ۵۸ درصد از اراضی کشاورزی کشور دارای شوری کمتر از دو دسی زیمنس بر متر بوده و در کلاس غیر شور قرار دارند. حدود ۱۴ درصد از اراضی کشاورزی، شوری کم (۴-۲ دسی زیمنس بر متر)، ۱۳/۴ درصد شوری متوسط (۴-۸ دسی زیمنس بر متر)، ۴۴/۵ درصد شوری زیاد (۱۶-۸ دسی زیمنس بر متر)، ۵/۵ درصد شوری نسبتاً زیاد (۱۶-۳۲ دسی زیمنس بر متر) و حدود ۷/۳ درصد شوری خیلی زیاد (بیش از ۳۲ دسی زیمنس بر متر) دارند (سعادت و همکاران، ۱۴۰۲). در استان اصفهان ۵۶۸ هزار هکتار اراضی زراعی وجود دارد که از این میزان تا سال ۱۳۷۰ حدود ۱۵۰ هزار هکتار از اراضی در مناطق بیابانی استان مانند شهرستان های خوروبابانک، نائین، اردستان، کاشان و بخشی از برخوار با شوری مواجه بودند. اما متأسفانه شوری خاک اراضی کشاورزی تا سال ۱۴۰۰ به ۳۰۰ هزار هکتار افزایش یافته است. بنابراین، در اقلیم خشک و نیمه خشک علاوه بر ناچیز بودن ماده آلی خاک، شوری نیز به شدت بر رشد گیاه تأثیرگذار است و میزان مصرف کودهای شیمیایی در این شرایط با شرایط غیر شور متفاوت است. از سوی دیگر میزان مصرف کود در خاکورزی حفاظتی در مقایسه با خاکورزی مرسوم متفاوت است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر نوع سیستم خاکورزی و مدیریت بقایا و مقدار مصرف کود فسفره بر عملکرد و خصوصیات زراعی محصول گلرنگ در شرایط شور انجام شد.

روشناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در طی دو سال زراعی ۹۸-۹۹ و ۹۹-۱۴۰۰ در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد با مختصات جغرافیایی $32^{\circ} 30' 29.52''$ شمالی و $51^{\circ} 50' 5.62''$ شرقی با ارتفاع ۱۵۴۴ متر انجام شد (شکل ۱). خاک‌های منطقه مورد مطالعه از نظر تیپ اراضی بر روی واحد تراس‌های آبرفتی رودخانه‌ای و از نظر ژئومورفولوژیکی روی تراس اول رودخانه زاینده رود تشکیل و تکامل یافته‌اند. سری غالب خاک ایستگاه کبوتر آباد اصفهان (Fine, Mixed, Thermic, Typic Calcisols (Calcisols FAO می‌باشد. بر اساس نقشه بیوکلیماتیک ایران (روش آمبرژه) ایستگاه کبوترآباد اصفهان در اقلیم خشک سرد قرار دارد. متوسط مقدار بارندگی سالیانه منطقه ۱۴۲/۴ میلی‌متر است. میزان بارش سال آبی ۹۸-۹۹ برابر ۲۰۱/۴ میلی‌متر بود ولی در سال بعد از آن (۹۹-۱۴۰۰) مقدار بارش ۸۴/۶ میلی‌متر ثبت شد که کاهش ۵۸ درصدی مقدار بارش و تنش آبی را نشان می‌داد. میزان تبخیر در منطقه مطالعاتی ده برابر بیشتر از مقدار بارندگی است و نوسانات دما و بارندگی نیز طی سال‌های متوالی قابل توجه بوده است. با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی استفاده از محصولات با نیاز آبی کمتر مانند گلرنگ و اجتناب از کشت‌های تابستانه نظیر صیفی‌جات است منطقی به نظر می‌رسد (تومانیان، ۱۳۹۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه کبوترآباد در استان اصفهان و نمایی از مزرعه انجام پژوهش

تیمارهای آزمایش

این پژوهش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به صورت مزرعه‌ای انجام شد. کرت‌های اصلی شامل نوع خاک‌ورزی در سه سطح خاک‌ورزی مرسوم، بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی و کرت‌های فرعی مقادیر مختلف کود فسفره بود. تیمارهای فسفر در چهار سطح بدون مصرف فسفر (P0)، ۵۰٪ توصیه (P50) (۱۰۷/۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل)، ۷۵٪ توصیه (P75) (۱۶۱ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل) و ۱۰۰٪ توصیه کودی فسفر بر مبنای آزمون خاک (۲۱۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل) اعمال شد. عرض هر کرت آزمایش با توجه به عرض دستگاه کارنده ۳ متر و طول هر کرت آزمایشی ۳۰ متر بود. در نتیجه مساحت کاشت هر کرت حداقل معادل ۹۰ متر مربع و مساحت هر تکرار ۳۰۰ متر مربع بود. خاک‌ورزی مرسوم (Co) شامل شخم برگردان دار، دو مرحله دیسک متقاطع و کاشت با دستگاه بذرکار- کودکار- خطی کار بود. عملیات کم‌خاک‌ورزی (Min) شامل کاربرد دو مرتبه چیرل پیلر و کاشت با ماشین بذرکار- کودکار- خطی کار بود. در تیمار بدون خاک‌ورزی (No) عملیات کاشت مستقیم بذر با استفاده از دستگاه بذرکار- کودکار- خطی کار انجام شد. کل بقایای محصول قبلی (کاه و کلش گندم) در قطعه خاک‌ورزی مرسوم حذف شدند. در کرت‌های کم و بدون خاک‌ورزی تنها بقایای ایستاده محصول حفظ و بقیه بقایا از زمین خارج شدند.

مرحله کاشت

تیمارهای فسفر همراه با کاشت بذر گلرنگ رقم صفه بدون تیغ (*Carthamus tinctorius*) و به صورت نواری و با استفاده از کود سوپر فسفات تریپل اعمال شد. برای کاشت گلرنگ از ماشین مرکب بذرکار-خطی کار کشت مستقیم ساخت شرکت آمازون استفاده گردید. تراکم کشت گلرنگ ۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. از روش آبیاری نواری (غرقابی) استفاده شد و انتهای پلات‌ها نیز بسته بود. از زمان کاشت تا انتهای فصل رشد، پنج مرتبه آبیاری صورت گرفت. سایر عناصر غذایی (نیترژن و عناصر کم‌مصرف) بر اساس آزمون خاک در کل کشت به صورت یکنواخت مصرف شدند. بنابر آنچه در منابع آمده است، توصیه کودی فسفر در گیاه گلرنگ آبی در مناطق معتدل اصفهان با پیش‌بینی ۵ تن در هکتار عملکرد دانه و کمتر از ۴ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر قابل دسترس خاک برابر با ۲۱۵ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل بوده است (نورقلی‌پور، ۱۳۹۷).

مراحل داشت و برداشت

در مرحله داشت، با آفت انگلی سس (*Cuscuta sp*) بصورت مکانیکی مبارزه و چند متر مربعی که آلوده بود، پاییل گردید. بیماری زنگ سیاه گلرنگ (*Erysiphe cichoracearum*) هم بروز کرد اما شدت آن زیاد نبود (گل آذین گیاه درگیر بیماری نشد) و نیازی به مبارزه شیمیایی ایجاد نشد. تعدادی لارو حشره طوقه بور و زنبور غوزه گلرنگ (*Eurytoma acropitae*) هم مشاهده شد ولی برای این آفات هم به دلیل بالابودن میزان خسارت، نیاز به مبارزه شیمیایی نبود. از مشکلات سیستم‌های بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی، استقرار علف‌های هرز چند ساله است. از این‌رو هر ساله به روش‌های وجین و شیمیایی با آنها مبارزه شد. علف‌های هرز غالب موجود در مزرعه شامل یولاف، گلرنگ وحشی، خارشتر، شیرین بیان، کاسنی، ماریتیغال، مرغ، کنگر، سالیکورنیا بودند. قبل از کاشت با استفاده از علف‌کش سیستمیک (گلایفوزیت) علف‌های هرز دائمی از بین برده شدند.

در کشت گلرنگ ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره، یک دوم هنگام کاشت و بقیه در مرحله غوزه‌دهی بکار رفت. پتاسیم قابل جذب خاک ۴۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود از این‌رو از مصرف کود پتاسیم خودداری شد. ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات آهن، سولفات روی و سولفات منگنز هنگام کاشت استفاده شد. مواد محرک رشد شامل هومیک اسید و آمینواسید به روش کودآبیاری استفاده شدند.

برداشت قسمت‌های هوایی گلرنگ در هر کرت با استفاده از سه فریم یک متر مربعی (به‌ازای هر ۱۰ متر طول کرت یک فریم) انجام و میانگین آنها بر اساس کیلوگرم در هکتار برآورد شد. صفات مورد اندازه‌گیری در گیاه شامل عملکرد بیولوژیک (وزن خشک کاه و کلش+دانه) و عملکرد دانه بود. افزون بر این در هر پلات غلظت و جذب فسفر در کاه و دانه اندازه‌گیری شدند (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۶). به‌علاوه، کارایی مصرف فسفر، کارایی زراعی و بهره‌وری جزئی محاسبه شد.

کارایی مصرف فسفر توسط گیاه گلرنگ از رابطه نسبت میزان عملکرد در تیمار شاهد به عملکرد در تیمار کودی محاسبه شد.

کارایی زراعی که حاصل اختلاف عملکرد تیمار با شاهد (عدم مصرف کود) تقسیم بر میزان کود مصرفی است و به صورت زیر قابل

محاسبه است:

$$AE (KgKg^{-1}) = (Gf - Gu) / Pa$$

Gf: عملکرد دانه در کرت کود داده شده (کیلوگرم)، Gu: عملکرد دانه در کرت کود داده نشده (کیلوگرم) و Pa مقدار فسفر مصرف

شده را نشان می‌دهند.

بهره وری جزئی برابر است با عملکرد هر تیمار تقسیم بر میزان کود مصرفی گیاه گلرنگ.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

قبل از انجام کشت، نمونه‌برداری خاک محل اجرای آزمایش به صورت نمونه مرکب و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. نمونه خاک سطحی پس از انتقال به آزمایشگاه هواخشک شده و پس از عبور از الک دو میلی‌متری مورد تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی قرار گرفت. بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1951)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) و اسیدیته (pH) در گل اشباع و به ترتیب به وسیله دستگاه هدایت‌سنج و pH متر، ماده آلی به روش والکی بلک (Walkey and Black, 1934)، آهک به روش تیتراسیون (Carter, 2007 and Gregorich, 2007)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen, et al. 1954)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم (Knudsen, et al. 1982) و میزان عناصر آهن، روی، منگنز و مس قابل جذب با استفاده از محلول DTPA و به وسیله دستگاه جذب اتمی (Lindsay, and Norwell, 1978) تعیین شدند. همچنین ویژگی‌های pH، EC، بیکربنات، کلر، سولفات، مجموع آنیون‌ها، کلسیم، منیزیم،

سدیم، مجموع کاتیون‌ها و SAR در نمونه آب آبیاری با روش‌های استاندارد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های به‌دست آمده در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد.

یافته‌ها و بحث پژوهش

جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی محل اجرای پژوهش را نشان می‌دهد. خاک مورد مطالعه دارای بافتی لومرسی‌سیلتی، آهکی، شور، دارای pH معادل ۷/۵ بود و غلظت آهن، روی و مس قابل دسترس خاک بسیار کم بود. پتاسیم و منگنز خاک در حد مطلوب قرار داشت.

جدول ۲ ترکیب شیمیایی آب آبیاری را نشان می‌دهد. کیفیت آب آبیاری از نظر شوری (۵/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر) دارای محدودیت بود. آستانه تحمل به شوری گیاه گلرنگ ۵/۶ و ۸/۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب برای آب آبیاری و عصاره اشباع خاک گزارش شده است (Ayers and Westcot, 1994). همچنین، طبق گزارش پژوهشگران کاهش محصول گلرنگ به اندازه ۲۵ درصد در شوری عصاره اشباع خاک برابر با ۷/۶ دسی‌زیمنس بر متر اتفاق می‌افتد (Ayers and Westcot, 1985).

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق (cm)	pH	CaCO ₃ %	EC dS m ⁻¹	K	P	Fe mg kg ⁻¹	Mn	Zn	Cu	رسی	سیلت %	شن	بافت خاک
۰-۳۰	۷/۵	۴۰/۵	۱۵/۵	۴۲۲/۶	۴/۶	۱/۱۳	۱۲/۵	۱/۲	۱/۱	۳۱	۴۶/۵	۲۲/۵	لومرسی‌سیلتی

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

EC	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Anion Sum	Ca+ Mg	Na ⁺	Cation Sum	SAR
dS m ⁻¹	-	meq L ⁻¹						-	-
۵/۳۵	۷/۶	۲/۶	۱۹/۷	۲۹/۶	۵۱/۹	۳۲/۴	۱۸/۸	۵۱/۲	۴/۶۷

تأثیر خاک‌ورزی و مقدار کوددهی فسفر بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و فسفر دانه و برگ

تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف خاک‌ورزی و کاربرد فسفر بر عملکرد بیولوژیک و دانه گلرنگ و مقدار فسفر دانه و برگ در جدول ۳ نشان داده شده است. اثر نوع خاک‌ورزی بر عملکرد بیولوژیک (کاه+دانه) و عملکرد دانه در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار شد که نشان‌دهنده برتری کاربرد روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی بر خاک‌ورزی مرسوم است. درحالی‌که در فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نوع خاک‌ورزی تنها بر عملکرد دانه و در سطح ۵ درصد آماری معنی‌دار شد. تأثیر سطوح خاک‌ورزی بر مقدار فسفر دانه و برگ گلرنگ در هیچ‌کدام از سال‌های زراعی معنی‌دار نشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر عملکرد بیولوژیک و دانه گلرنگ در طی دو فصل کشت و درصد فسفر دانه و برگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		عملکرد بیولوژیک ^۱	عملکرد دانه ^۱	فسفر دانه ^۱	فسفر برگ ^۱	عملکرد بیولوژیک ^۲	عملکرد دانه ^۲	فسفر برگ ^۲
تکرار	۲	۱۱/۴*	۰/۲۸ ^{ns}	۰/۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۱/۳۵ ^{ns}	۰/۱۶۳ ^{ns}	۰/۰۲۲ ^{ns}
خاک‌ورزی	۲	۳۳/۷*	۰/۸۶**	۰/۰۴۳ ^{ns}	۰/۰۳۳ ^{ns}	۰/۳۵۳ ^{ns}	۱/۱*	۰/۰۲۵ ^{ns}
خطا ۱	۴	۱۵/۴	۰/۴۳	۰/۰۵	۰/۰۴۱	۰/۱۷۴	۰/۱۴۴	۰/۰۲۷
فسفر	۳	۵۹/۳*	۵/۰*	۰/۱۹**	۰/۲۲**	۱۹/۸**	۳/۷۲**	۰/۱۵۲**
خاک‌ورزی × فسفر	۶	۱/۲۵ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۰۱۷ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۰/۹ ^{ns}	۰/۰۸۳ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}
خطا ۲	۱۸	۱/۲۱	۰/۱۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۱/۲۲۲	۰/۱۱۷	۰/۰۱۲
ضریب تغییرات	-	۷/۲	۱۲/۱	۸/۲	۹/۳	۱۵	۱۰/۴	۱۱/۷

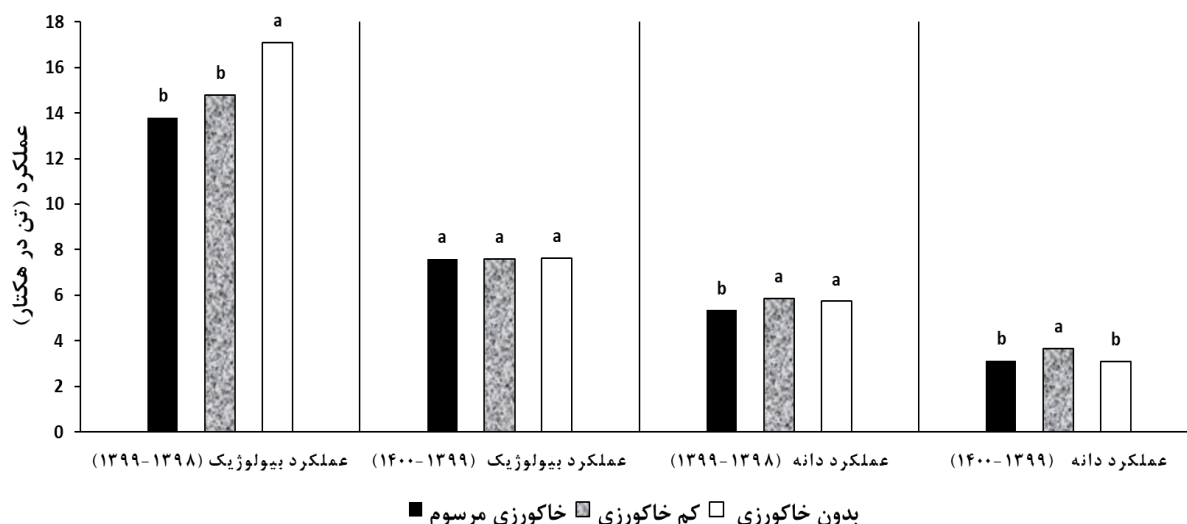
۱ و ۲ به ترتیب سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ را نشان می‌دهند.

*, **, و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهند.

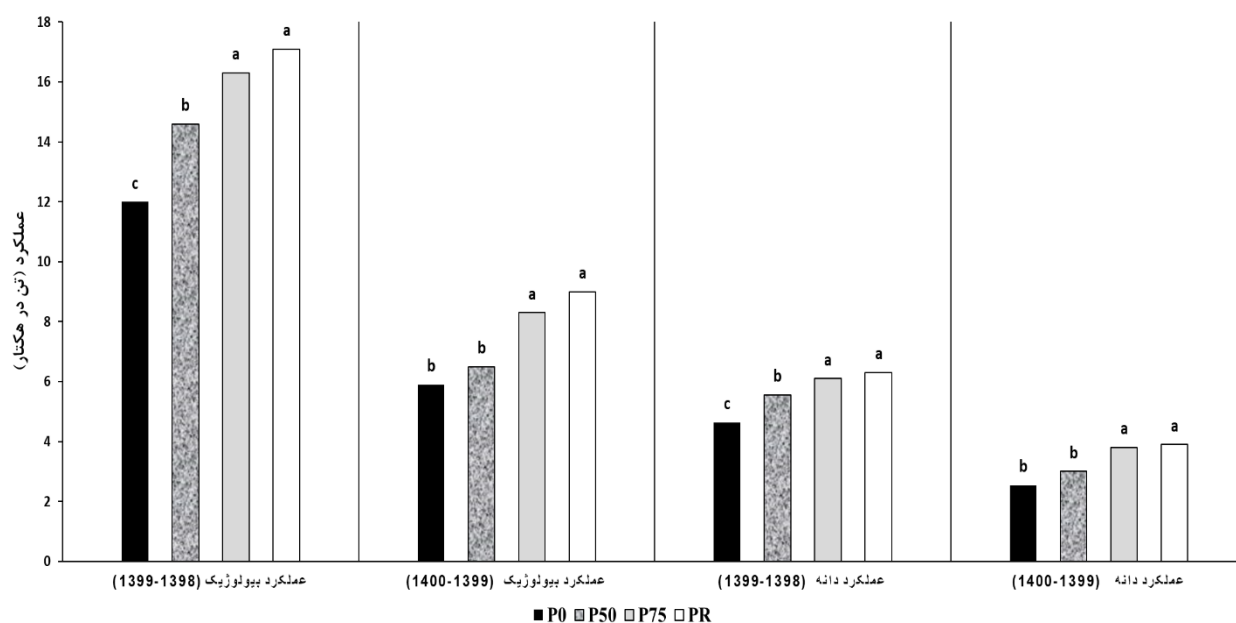
تیمارهای کود فسفره در هر دو سال زراعی بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار بودند. همچنین، این تیمار بر فسفر دانه و برگ گلرنگ در هر دو سال زراعی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر عملکرد بیولوژیک (کاه+دانه) و دانه گلرنگ در سال‌های (۱۳۹۸-۱۳۹۹) و (۱۳۹۹-۱۴۰۰) در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در تیمار بدون خاک‌ورزی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دو تیمار دیگر کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم داشت. اگرچه مقدار عملکرد کم‌خاک‌ورزی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود ولی اختلاف این دو تیمار معنی‌دار نشد. در همین سال زراعی تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گلرنگ داشتند. وجود بقایا در سطح خاک، می‌تواند موجب افزایش دما و رطوبت خاک و کمک به دانه گیاه در جوانه زنی و استقرار بهتر شود (Bahrani et al. 2002).

عملکرد بیولوژیک سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در مقایسه با سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به طور معنی‌داری کمتر بود و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خاک‌ورزی در این سال مشاهده نشد. این مسئله به علت وقوع خشکسالی، افزایش شوری آب و خاک، طغیان علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها بود. تأثیر نوع خاک‌ورزی بر عملکرد دانه در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ معنی‌دار بود و تیمار کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با تیمارهای بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم عملکرد بهتری را نشان داد. حمزه‌ای و صیادیان (۱۳۹۷) خصوصیات رویشی گلرنگ را اندازه‌گیری کردند ولی تفاوت قابل توجهی بین خصوصیات رویشی در گیاهان حاصل از روش‌های مختلف خاک‌ورزی مشاهده نکردند. سالک‌زمانی (۱۳۹۱) نیز گزارش نمود که اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد دانه گلرنگ معنی‌دار نبود.

مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کود فسفر بر عملکرد دانه و بیولوژیک گلرنگ در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین عملکرد بیولوژیک گیاه گلرنگ در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ صرف‌نظر از نوع خاک‌ورزی در ۱۰۰٪ توصیه کودی فسفر بر مبنای آزمون خاک (۲۱۵ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل) و ۷۵ درصد توصیه کودی (کاربرد ۱۶۱ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل) به میزان ۱۷/۱ و ۱۶/۳ تن در هکتار مشاهده شد. عملکرد بیولوژیک گلرنگ در سال دوم به شدت افت داشته است و بیشترین مقادیر عملکرد در تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد مشاهده شد. به طور مشابه با عملکرد بیولوژیک، بیشترین مقدار عملکرد دانه هم در طی هر دو سال در تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد توصیه کودی فسفر بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با سطوح کمتر فسفر داشت. به طور مشابه با عملکرد بیولوژیک در عملکرد دانه هم عملکرد در سال اول بیشتر از سال دوم بود. در مجموع می‌توان گفت در آزمایش حاضر و شرایط حاکم بر آن، تیمار ۷۵ درصد توصیه کودی صرف‌نظر از نوع خاک‌ورزی بهترین تیمار بوده است.



شکل ۲- میانگین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (تن در هکتار) گیاه گلرنگ در تیمارهای خاک‌ورزی (میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر بخش در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)



شکل ۳- میانگین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (تن در هکتار) گیاه گلرنگ در مقادیر مختلف توصیه کودی فسفر (میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر بخش در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)
P0، P50، P75 و PR به ترتیب بدون کوددهی، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی فسفر را نشان می‌دهند.

اثرات متقابل خاک‌ورزی و فسفر بر عملکرد بیولوژیک و دانه گلرنگ

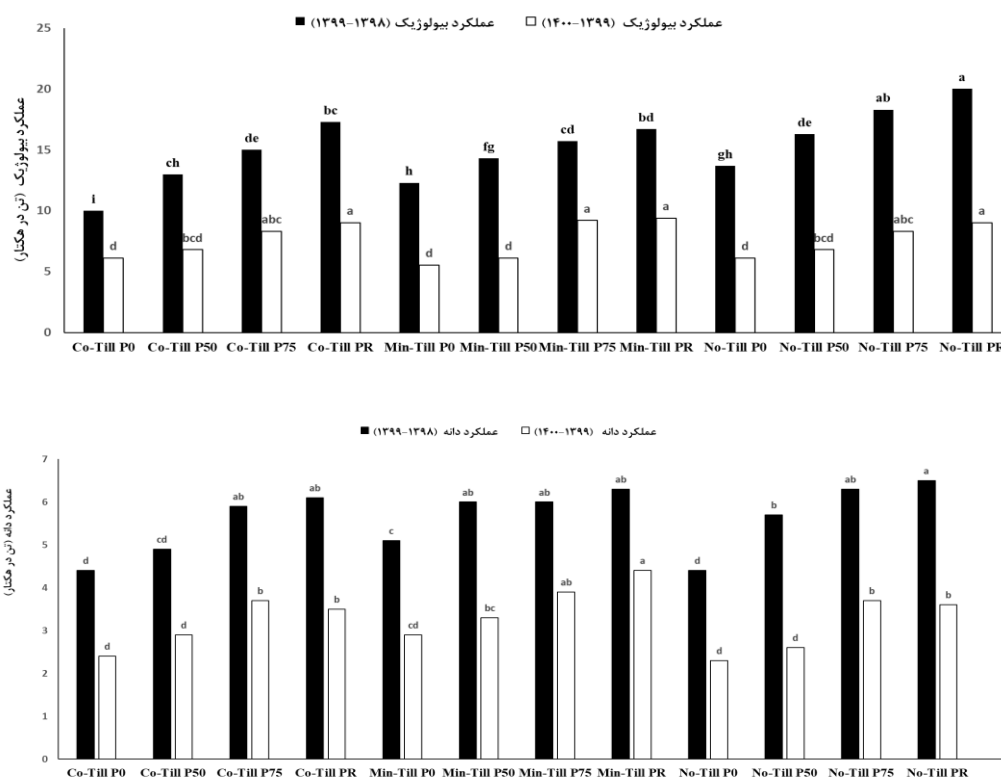
شکل ۴- الف مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و فسفر بر عملکرد بیولوژیک گلرنگ در طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نشان می‌دهد. مقدار عملکرد بیولوژیک گلرنگ در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به طور معنی‌داری بیشتر از سال زراعی بعد از آن بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک به تیمار بدون خاک‌ورزی و ۱۰۰ و ۷۵ درصد توصیه کودی فسفر اختصاص داشت. پس از آن تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی در ۱۰۰ درصد توصیه کودی فسفر بیشترین عملکرد بیولوژیک را در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به خود اختصاص دادند. حداقل عملکرد بیولوژیک این سال زراعی در تیمار شاهد کود فسفر و خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شد. روند مشابه آنچه در سال زراعی قبل مشاهده شد در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ نیز نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک به تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد توصیه کودی صرف‌نظر از نوع خاک‌ورزی اختصاص دارد. نتایج نشان داد که در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ عملکرد بیولوژیک گلرنگ در تیمارهای بدون خاک‌ورزی و در هر سطح توصیه کودی بطور معنی‌داری بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی بود. درحالی‌که در کم-خاک‌ورزی این اثر اغلب کمتر از خاک‌ورزی مرسوم بود. فسفر از عناصر غذایی کم تحرک در خاک است. از این‌رو نوع سیستم خاک‌ورزی، مدیریت بقایا و جای‌گذاری آن کنار بذر نقش مهمی در قابل جذب شدن و در دسترس بودن آن برای گیاه دارد. همچنین، هرچه تماس ذرات کود فسفره با ماتریکس خاک کمتر باشد، حلالیت آن بیشتر طول می‌کشد و گیاه فسفر بیشتری از محلول خاک برداشت می‌کند. (Ahamefule et al. (2014 گزارش کردند که کاربرد فسفر به ترتیب موجب افزایش عملکرد گیاه لوبیا چشم بلبلی در کرت‌های شخم خورده با مالچ، شخم خورده بدون مالچ، بدون شخم با مالچ و بدون شخم بدون مالچ بدست آمد.

شکل ۴- ب مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و فسفر بر عملکرد دانه گلرنگ در طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نشان می‌دهد. بیشترین مقدار عملکرد دانه در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی فسفر بدست آمد و بین روش‌های مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. روند مشابه سال اول برای دوم نیز مشاهده شد. عنابی میلانی و سالک‌زمانی (۱۳۹۴) گزارش کرد که اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد دانه گلرنگ معنی‌دار نبود و میانگین عملکرد دانه گلرنگ کرت بدون خاک‌ورزی ۳۵۹۹ کیلوگرم در هکتار و در کرت شخم‌شده با گاواهن قلمی ۳۳۰۷ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. این محققین نتیجه‌گیری کردند که نوع و عمق عملیات خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزا عملکرد گلرنگ (بجز وزن هزار دانه) ندارد و با توجه به مزایای عملیات خاک‌ورزی حداقل، این عملیات خاک‌ورزی برای کاشت گلرنگ در منطقه قابل توصیه است. اسدی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند انجام عملیات شخم مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد قسمت هوایی ذرت نداشتند. این پژوهشگران سیستم کم‌خاک‌ورزی یا بی‌خاک‌ورزی را در زراعت ذرت توصیه نمود. بهرام‌پور و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش نمودند که

سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه سویا نداشتند.

اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و فسفر بر کارایی مصرف فسفر گلرنگ

اثرات متقابل خاک‌ورزی و تیمارهای توصیه کودی فسفر بر کارایی مصرف فسفر، کارایی زراعی و بهره‌وری جزئی در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین مقدار کارایی مصرف فسفر به ترتیب در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی با کاربرد ۵۰ درصد توصیه کود فسفره (کمترین مقدار کود مصرفی و ۱۰۷ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. کمترین کارایی مصرف فسفر در تیمارهای با ۱۰۰ درصد توصیه کودی و به‌ویژه در شخم مرسوم مشاهده شد. این به‌روشنی نشان می‌دهد که افزایش کوددهی تا حدی باعث افزایش عملکرد می‌شود و بیش از مقدار مورد نیاز کارایی لازم را ندارد. این مسئله می‌تواند به قانون عوامل محدودکننده مرتبط باشد، بدین‌صورت که وقتی تأمین یک عنصر غذایی زیاد می‌شود، دیگر عناصر غذایی عوامل محدودکننده می‌شوند. بیشترین مقدار کارایی زراعی در تیمار شخم مرسوم و کوددهی ۱۰۰ درصد توصیه کودی مشاهده شد. بیشترین مقدار کارایی مصرف و بهره‌وری جزئی در تیمار بدون خاک‌ورزی و کوددهی ۵۰ درصد توصیه کودی مشاهده شد. این مسئله نشان‌دهنده تأثیر روش بدون خاک‌ورزی در کاهش مصرف کودهای فسفوری در زراعت گلرنگ است. خودشناس و همکاران (۱۴۰۱) کارایی ارقام مختلف گلرنگ از لحاظ جذب فسفر و پاسخ آنها به مصرف کود (مقادیر صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، از منبع سوپر فسفات تریپل) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مصرف فسفر بر شاخص‌های کارایی فسفر مؤثر بود. بین سطوح فسفر مورد استفاده از نظر کارایی جذب و فاکتور تنش، سطح ۲۵ و از لحاظ فسفر کارایی کل سطح ۵۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر سطوح بهتر بود. میرزاشاهی و همکاران (۱۳۹۹) به‌منظور بررسی تأثیر فسفر بر عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی فسفر در ارقام گلرنگ از کود فسفر در پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که با توجه به بیشترین نسبت فایده به هزینه، مصرف ۵۰ کیلوگرم فسفر با بیشترین شاخص کارایی مصرف و جذب قابل توصیه می‌باشد.



شکل ۴- اثر متقابل نوع خاک‌ورزی و سطوح مختلف توصیه کودی فسفر بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (تن در هکتار) گلرنگ در سال‌های مختلف

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر سال زراعی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

P0، P50، P75 و PR به ترتیب بدون کوددهی، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی فسفر را نشان می‌دهند.

No-Till و Min-Till، Co-Till به ترتیب خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی را نشان می‌دهند.

جدول ۴ - اثرات متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و فسفر بر کارایی مصرف فسفر در گیاه گلرنگ

تیمار	عملکرد کل (تن در هکتار)	کارایی مصرف (%)	کارایی زراعی (KgKg ⁻¹)	بهره‌وری جزئی (KgKg ⁻¹)
Co-Till P0	۱۰/۰	-	-	-
Co-Till P50	۱۳/۰	۷۷	۲۸	۱۲۱
Co-Till P75	۱۵/۰	۶۷	۳۱	۹۳
Co-Till PR	۱۷/۳	۵۸	۳۴	۸۱
Min-Till P0	۱۲/۳	-	-	-
Min-Till P50	۱۴/۳	۸۶	۱۹	۱۳۳
Min-Till P75	۱۵/۷	۷۸	۲۱	۹۷
Min-Till PR	۱۶/۷	۷۴	۲۱	۷۸
No-Till P0	۱۳/۷	-	-	-
No-Till P50	۱۶/۳	۸۴	۳۲	۱۵۲
No-Till P75	۱۸/۳	۷۵	۳۱	۱۱۴
No-Till PR	۲۰/۰	۶۹	۲۹	۹۳

P0, P50, P75 و PR به ترتیب بدون کوددهی، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی فسفر را نشان می‌دهند.

Co-Till, Min-Till و No-Till به ترتیب خاکورزی مرسوم، کم‌خاکورزی و بدون خاکورزی را نشان می‌دهند.

تأثیر تیمارهای کود فسفر بر غلظت و جذب فسفر گلرنگ

جدول ۵ نشان می‌دهد که کاربرد سطوح مختلف کود سوپر فسفات تریپل موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در دانه و برگ گلرنگ گردید. کل خالص برداشت فسفر توسط گلرنگ (جذب فسفر) که حاصل ضرب غلظت فسفر در عملکرد می‌باشد، از ۱۷/۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۳۷/۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۱۰۰ درصد توصیه کودی افزایش یافت. به نظر می‌رسد افزایش جذب فسفر را می‌توان به توسعه ریشه، ترشح اسیدهای آلی (سیتراتها)، ترشح یون پروتون داخل ریزوسفر مرتبط دانست. علاوه بر این، با توجه به پایین بودن فسفر قابل دسترس خاک (پایین‌تر از حد بحرانی ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، پاسخ گیاه به کود فسفوری امکان‌پذیر بود. علاوه بر اثر مستقیم کاربرد سوپرفسفات در افزایش عملکرد گلرنگ، همچنین جای‌گذاری فسفر در کنار بذر نیز می‌تواند سبب افزایش رشد گیاه و افزایش میزان جذب فسفر شود (حمزه‌ایی و صیادیان، ۱۳۹۷).

جدول ۵ - اثر فسفر بر میزان غلظت فسفر دانه، برگ و مقدار جذب آن توسط گیاه گلرنگ

کود فسفر	غلظت فسفر دانه ^۱ (%)	غلظت فسفر برگ ^۱ (%)	غلظت فسفر دانه ^۲ (%)	غلظت فسفر برگ ^۲ (%)	جذب فسفر ^۲ Kg ha ⁻¹
P ₀	۰/۳۷ ^b	۰/۲۳ ^a	۰/۴۱ ^b	۰/۱۶ ^b	۱۳/۴۳
P ₅₀	۰/۴۸ ^b	۰/۲۳ ^a	۰/۵۱ ^{ab}	۰/۲۵ ^a	۲۱/۸۴
P ₇₅	۰/۴۱ ^b	۰/۲۰ ^a	۰/۵۵ ^{ab}	۰/۲۷ ^a	۲۱/۰۰
P _R	۰/۴۴ ^a	۰/۲۲ ^a	۰/۶۰ ^a	۰/۳۱ ^a	۲۳/۳۲

۱ و ۲ به ترتیب سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ را نشان می‌دهند.

جدول ۶ - اثر کاربرد سوپرفسفات تریپل بر میانگین فسفر قابل دسترس خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)

سال کاشت	P ₀	P ₅₀	P ₇₅	P _R
۱۳۹۸	۴/۶d	۶/۳c	۸/۶b	۱۹/۵a
۱۳۹۹	۴/۱d	۷/۰c	۹/۳b	۲۲/۳a
۱۴۰۰	۳/۵d	۱۰/۲c	۱۷/۶b	۲۵/۳a

*اعداد هر ردیف که در یک حرف مشترک می‌باشند، در سطح ۵ درصد طبق آزمون مقایسه میانگین دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

تأثیر کاربرد کود فسفر بر فسفر قابل دسترس خاک

هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در هنگام جوانه‌زنی و سبز شدن گلرنگ ۱۴/۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. شوری بالای خاک مشکلی در سبز شدن دانه‌های گلرنگ ایجاد نکرد. این مسئله، مقاومت بالای این گیاه را به شوری آب و خاک را نشان می‌دهد. دانه‌های گلرنگ

در کرت‌های بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی بهتر سبز شده بودند و سله بستن خاک هم کمتر مشاهده شد. وجود بقایا در سطح خاک، به جوانه‌زنی بهتر، سبز شدن دانه‌ها و استقرار جوانه گل‌رنگ کمک کرد. در مراحل اولیه میزان رشد بوته‌های گل‌رنگ به ترتیب در کرت‌های بدون، کم‌خاک‌ورزی و مرسوم بیشتر بود. از این‌رو کاربرد روش‌های بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی و باقی گذاشتن بقایای ایستاده گیاهی در سطح خاک می‌تواند در کاهش تنش شوری و بهبود رشد گیاه مؤثر باشند.

مقایسه میانگین اثرات تجمعی کاربرد مقادیر متفاوت سوپرفسفات تریپل در طی سال‌های کشت گل‌رنگ بر مقدار فسفر قابل دسترس خاک (عمق ۰-۳۰ سانتیمتر) در جدول ۶ نشان داده شده است. کوددهی با سطوح مختلف کود فسفره منجر به افزایش فسفر خاک تا ۲۵/۳ میلی گرم بر کیلوگرم شده است. در سطوح کوددهی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد کود فسفره مقدار فسفر خاک از سال ۱۳۹۸ تا سال ۱۴۰۰ روند افزایشی نشان داده است. صرف‌نظر از نوع خاک‌ورزی تیمار ۷۵ درصد توصیه کودی، فسفر مورد نیاز گیاه را تأمین نمود. تأثیر سال در سطوح کوددهی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد مشابه بود و مقدار فسفر قابل دسترس خاک در سال ۱۴۰۰ در مقایسه با سال‌های قبل از آن افزایش چشمگیری داشت. این درحالیست که در تیمار بدون کوددهی مقدار فسفر قابل دسترس خاک کاهش یافت (مقایسه میانگین اثر سال در جدول نشان داده نشده است).

نتایج مقایسه میانگین فسفر قابل دسترس خاک در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در جدول ۷ نشان داده شده است. بیشترین افزایش مقدار فسفر قابل دسترس خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) به ترتیب در کرت‌های بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی مشاهده شد. میزان فسفر در سیستم کم‌خاک‌ورزی در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر برابر با ۳۱/۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک و کمترین میزان آن در سیستم خاک‌ورزی مرسوم به میزان ۲۵/۶ میلی گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد. با کاربرد سوپرفسفات تریپل سال به سال بر مقدار فسفر قابل دسترس خاک افزوده شد. افزایش فسفر خاک می‌تواند بدلیل اثرات باقی‌مانده (تجمعی) حاصل از کاربرد هر ساله کود فسفوری باشد. روزه (۱۳۹۴) تأثیر مدیریت خاک‌ورزی و کود فسفره بر غلظت فسفر قابل استفاده در اعماق مختلف خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای مورد بررسی قرار داد. نتایج این محقق نشان داد که تهیه بستر با روش کم‌خاک‌ورزی موجب بیشترین مقدار غلظت فسفر در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک شد و عملیات خاک‌ورزی به روش مرسوم با استفاده از گاواهن‌برگردان‌دار از نظر مقدار غلظت فسفر با ۲/۷ درصد کاهش در رتبه دوم قرار گرفت. محمدی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش نمودند که تغییر خاک‌ورزی مرسوم به روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی اثر قابل توجهی بر مقدار ذخایر فسفر خاک دارد به گونه‌ای که میزان این شکل از فسفر از ۹/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌ورزی مرسوم به ۲۱/۳۷ میلی گرم بر کیلوگرم در کم‌خاک‌ورزی تغییر یافت که نشانگر افزایش حدوداً ۲ برابری آن بود. همچنین، نتایج نشان داد که تغییر خاک‌ورزی از مرسوم به خاک‌ورزی‌های حفاظتی (بستر برآمده، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) موجب افزایش معنی‌دار فسفر آلی در همه شکل‌ها (فسفر قابل دسترس و فسفر باقی‌مانده) شد. همچنین، میزان فسفر دانه گندم حدود ۳/۵ درصد در کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش نشان داد.

جدول ۷- تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی و کود فسفر بر مقدار میانگین فسفر قابل دسترس خاک (میلی گرم در کیلوگرم)

تیمار	P ₀	P ₅₀	P ₇₅	P _R	P ₀	P ₅₀	P ₇₅	P _R	P ₀	P ₅₀	P ₇₅	P _R
	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰		۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰		۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	
Co	۳/۴c*	۶/۱b	۷/۵b	۹/۳a	۳/۶c	۷/۵b	۹/۷b	۱۴/۲a	۳/۷d	۱۸/۲c	۲۲/۳b	۲۵/۶a
Min	۴/۳d	۸/۵c	۱۱/۸b	۲۱/۰a	۳/۱d	۸/۲c	۱۳/۴b	۱۷/۱a	۳/۵d	۱۵/۳c	۲۰/۲b	۲۶/۵a
No	۳/۰c	۴/۶b	۵/۵۳ b	۱۳/۳۴a	۲/۸d	۶/۶c	۱۱/۰b	۱۵/۶a	۳/۰d	۱۷/۶b	۱۸/۳b	۳۱/۰a

*اعداد هر ردیف و هر سال که در یک حرف مشترک می‌باشند، در سطح ۵ درصد طبق آزمون مقایسه میانگین دانکن اختلاف معنی داری

ندارند.

Bolur et al. (2014) در بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر فسفر خاک گزارش نمودند که بالاترین میزان فسفر در

خاک بر اثر اجرای سیستم کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی حاصل شد. این پژوهشگران تجمع مواد آلی در لایه‌های سطحی خاک دست نخورده را، بر چگونگی توزیع فسفر مؤثر گزارش نمودند. از آنجا که فسفر دارای اثرات باقی‌مانده و تجمعی در خاک است، کاربرد آن برای هر محصول، بایستی با توجه به نتایج آزمون خاک (قبل از کاشت) و تعیین مقدار فسفر قابل دسترس باشد. هرچه تماس دانه‌های کود فسفره با ذرات خاک کمتر باشد، تثبیت فسفر در خاک کمتر می‌شود. در نتیجه فسفر قابل دسترس خاک افزایش یافته و مدت زمان بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (Bahrapur et al. 2017).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی (مرسوم، کم و بدون خاکورزی) و مقادیر مختلف توصیه کودی فسفر بر کشت گلرنگ در خاک شور در طی دو سال زراعی در ایستگاه کبوترآباد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. وجود بقایای گیاهی همراه با تیمارهای بی‌خاکورزی و کم‌خاکورزی موجب سبزشدن یکنواخت دانه‌های گلرنگ شد. رشد و نمو آنها مناسب بود و عملکرد بالاتر دانه گلرنگ در تیمارهای تیمارهای بی‌خاکورزی و کم‌خاکورزی مشاهده شد. نتایج نشان داد که در کاشت گیاه گلرنگ کاربرد ۷۵ درصد توصیه کودی فسفر کافی بود چرا که در تمام انواع خاکورزی این سطح از کاربرد فسفر عملکردی بیشتر و یا معادل ۱۰۰ درصد توصیه کودی داشت. همتراز شدن اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر عملکرد بیولوژیک گلرنگ، نشان‌دهنده کاربردی و برتری سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم (گاواهن+دیسک) بود. نتایج نشان داد کاربرد روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی با حفظ بقایای گیاهی در کشت‌های بهاره گلرنگ در شرایط شوری آب و خاک قابل توصیه است.

سپاس‌گزاری

از مدیریت محترم مرکز و همکاران ایستگاه کبوترآباد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع اصفهان که در اجرای این پروژه یاری نمودند قدردانی می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- اداره کل پنبه، دانه‌های روغنی و گیاهان صنعتی. (۱۳۹۳). طرح افزایش خوداتکایی در تولید دانه‌های روغنی (با محوریت اقتصاد مقاومتی). معاونت امور زراعت، وزارت جهاد کشاورزی. ۱۴۳ صفحه.
- اشرفی زاده، سیدرضا. (۱۳۹۵). کاشت بدون خاکورزی گندم در اراضی آیش نیشکر جنوب خوزستان، مجموعه مقالات، مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد، دزفول، ایران.
- بلور، الهام،، عسگری، حمیدرضا و کیانی، فرشاد. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی بر عناصر مغذی خاک (مطالعه موردی: برخی از اراضی کشاورزی شهرستان کلاله- استان گلستان). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۴ (۴): ۳۵۴-۳۶۰.
- بهرام‌پور، تهمینه، عادل‌زاده، رضا و سیف‌امیری، صابر. (۱۳۹۶). تأثیر شیوه خاکورزی بر برخی از شاخص‌های فیزیکی خاک، ویژگی‌های زراعی و عملکرد دانه سویا در دشت مغان- ایران. دانش آب و خاک. ۲۷ (۱): ۱۷-۲۷.
- تومانیان، نورایر. (۱۳۹۱). گزارش نهایی مطالعه خاک‌شناسی تفصیلی اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- جباری، حمید، نظری، محمدرضا، پورداد، سید سعید. و همکاران. (۱۴۰۲). زراعت گلرنگ آبی و دیم. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دستنامه فنی.
- حشمتی، سیاوش،، امینی دهقی، مجید و فتحی امیرخیز، کیوان. (۱۳۹۶). تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی فسفر بر عملکرد دانه، عملکرد روغن و اسیدهای چرب گلرنگ بهاره (IL111) در شرایط کمبود آب. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۸ (۱): ۱۵۹-۱۶۹.
- حمزه‌ایی، جواد و صیادیان، احسان. (۱۳۹۷). اثر مایکوریزا بر کاهش مصرف فسفر و عملکرد گندم دیم تحت سامانه‌های مختلف خاکورزی، یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران.
- خودشناس، محمدعلی، قدبیک لو، جواد و نورقلی پور، فریدون. (۱۴۰۱). تأثیر سطوح مختلف فسفر بر رشد، عملکرد و کارایی جذب فسفر در ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). پژوهش‌های خاک ۳۶ (۲): ۱۴۸-۱۶۳.
- خوشگفتارمشت، امیرحسین. (۱۳۹۶). ارزیابی وضعیت تغذیه‌های گیاه و مدیریت بهینه کودی، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
- سالک زمانی، علی (۱۳۹۱). اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد گلرنگ. بوم‌شناسی گیاهان زراعی، ۸ (۱): ۴۱-۴۸.
- عنایی میلانی، اژدر و سالک زمانی، علی (۱۳۹۴). بررسی تأثیر نوع خاک‌ورزی بر رطوبت و نفوذپذیری خاک و عملکرد گلرنگ، پژوهش آب در کشاورزی ۲۹ (۲): ۱۹۵-۲۰۷.
- روزبه، مجید. (۱۳۹۴). اثرات خاکورزی و مدیریت فسفر بر لایه‌بندی فسفر در سیستم تولید ذرت دانه‌ای. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۴ (۳): ۴۹۴-۵۰۲.



سعادت، سعید. (۱۳۹۸). گزارش نهایی طرح پایش کیفیت خاکهای کشاورزی. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

سعادت، سعید، رضایی، حامد، باقری، یوسف رضا، میرخانی، رسول. و اسماعیل نژاد لیلا. (۱۴۰۲). نقشه شوری خاکهای کشاورزی ایران، نشریه فنی شماره ۶۳۰، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، کرج، ایران.

فروهر، مجید و کشاورز، پیمان. (۱۳۹۹). کشاورزی حفاظتی، مقدمه ای بر مدیریت عناصر غذایی، نشر آموزش کشاورزی.

محمدی، زهره، بارانی مطلق، مجتبی، اسدی، محمد اسماعیل، موحدی نائینی، سید علیرضا و سفیدگر شاهکلایی، سمیه (۱۳۹۹). تأثیر مدیریتهای مختلف خاکورزی بر شکل های معدنی فسفر خاک. دانش آب و خاک. ۳۰ (۴): ۱-۱۴

میرزاشاهی، کامران، معیری، منصور و نورقلی پور، فریدون. (۱۳۹۹). واکنش عملکرد ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) به کاربرد فسفر و شاخص های کارایی آن. پژوهش های زراعی ایران ۱۸ (۴): ۴۷۷-۴۸۸.

نورقلی پور، فریدون. (۱۳۹۷). بهینه سازی توصیه کودی ارقام جدید گلرنگ در مناطق گرم و سرد ایران، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.

REFERENCES

- Ahamefule, E. H., & Chinedu, P. P. (2014). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) response to phosphorus fertilizer under two tillage and mulch treatments. *Soil and Tillage Research*, 136, 70-75.
- Ashrafizadeh, S. R. (2016). No-till wheat planting in sugarcane fallow lands in southern Khuzestan, Safi-Abad Agricultural Research Center, Dezful, Iran. (In Persian).
- Ayers, R.S., & Westcot, D.W. (1985). *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage, Paper 29, Food and Agriculture Organization, Rome.
- Ayers, R.S., & Westcot, D.W. (1994). *Water Quality for Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Bahrampur, T., Adelzadeh R. & Seyfe-amiri S. (2017). Tillage methods, soil physical parameters, soybean yield, and physiological properties (Moghan country). *Science of Water and Soil Journal*, 27(1), 17-27. (In Persian).
- Bahrani, M. J., Kheradmand, M., Emam, Y., Ghadiri, H. & Asad, M.T. (2002). Effects of tillage methods on wheat yield and yield components in continuous wheat cropping. *Experimental Agriculture*, 38:389-395.
- Bolo, P.; Kihara, J.; Mucheru-Muna, M.; Njeru, E. M.; Kinyua, M. & Sommer, R. (2021). Application of residue, inorganic fertilizer and lime affect phosphorus solubilizing microorganisms and microbial biomass under different tillage and cropping systems in a Ferralsol. *Geoderma*, 390, 114962.
- Boloor, E., Asgari, H.R. & Kiani, F. (2015). The effect of tillage systems on soil nutrients (Case study: some Agricultural lands of Kalale, Golestan Province). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 4(4) 355-360. (In Persian).
- Bouyoucos, G. H. (1951). A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43, 434-438.
- Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., & Dulazi, A. A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crops and the environment. *International Soil and Water Conservation, Research*, 3, 119-129.
- Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2007). *Soil sampling and methods of analysis*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Dang, Y.P., Moody, P.W., Bell, M.J., Seymour, N.P., Dalal, R.C., Freebairn, D.M., & Walker, S.R. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grains-growing regions: II. Implications for agronomy, soil, and environment. *Soil and Tillage Research*, (2015), 152, 115-123.
- FAO. (2022). *Agricultural Data, FAOSTAT*. Available at Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/faostat/collections>.
- Fileccia, T. (2009). *Conservation agriculture and food security in Kazakhstan*. Working Paper, FAO Investment Centre Division, Rome.
- Forouhar, M. & Keshavarz, P. (2019). *Conservation Agriculture, an Introduction to Nutrient Management*, Agricultural Education Publication. (In Persian).
- Gandomkar, A. (2019). Affects of weeds control methods on yield and quality of fruit in apple tree. *Eurasian Journal of Biosciences*, 13(2), 1973-1977.
- General Directorate of Cotton, Oilseeds, and Industrial Plants. (2014). *Plan to Increase Self-Reliance in Oilseed Production (Focusing on the Resistance Economy)*. Deputy for Agricultural Affairs, Ministry of Agricultural Jihad. 143 pages (In Persian).

- Hamzei, J. & Sayadian, E. (2018). The effect of mycorrhiza on reducing phosphorus consumption and yield of rainfed wheat under different tillage systems, 11th National Congress of Mechanical Engineering, Biosystems and Mechanization of Iran. (In Persian).
- Heshmati, S., Amini Dehghi, M., & Fathi Amirkhiz. (2017). Effects of biological and chemical phosphorus fertilizer on grain yield, oil seed, and fatty acids spring safflower in water deficit conditions. Iranian Journal of Field Crop Science, 48 (1), 159-169. (In Persian).
- Huang, L.M., Jia, X.X., Zhang, G.L., & Shao, M.A. (2017). Soil organic phosphorus transformation during ecosystem development: A review. Plant and Soil, 417, 17-42.
- Jabbari, H., Nazari, M. R., Pourdad, S. S. et al. (1402). Irrigated and Rainfed Safflower Cultivation. Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Research, Education and Extension Organization. (In Persian).
- Jiang, X., Wright, A.L., Wang, J., & Li, Z. (2011). Long-term tillage effects on the distribution patterns of microbial biomass and activities within soil aggregates. Catena, 87, 276-280.
- Kassam, A. H., Friedrich, T., Derpsch, R., & Kienzie, J. 2014. Worldwide adoption of conservation agriculture. 6th World Congress on Conservation Agriculture, Winnipeg, Canada.
- Khodshenas, M. A., Ghadbiklo, J. & Noorgholipour, F. (2012). The effect of different phosphorus levels on growth, yield, and phosphorus uptake efficiency in safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Soil Research 36(2): 148-163. (In Persian).
- Khoshgofarmanesh, A. H. (2017). Assessment of Plant Nutritional Status and Optimal Fertilizer Management. Isfahan University of Technology Press. (In Persian).
- Knudsen, D., Peterson, G.A., & Pratt, P.F. (1982). Lithium, sodium, and potassium, P 225-246. In: A.J. Page (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological. Properties. Agronomy Series Number 9 (Part 2). American Society of Agronomy. Inc. Soil Science Society of America. Inc. Madison, Wisconsin. USA.
- Kopitke, P. M., Dalal, R.C., Wang P. & Menzies, N. (2018). Effects of long-term cultivation on phosphorus in five low-input soils. Agriculture Ecosystems and Environment, 252, 191-199.
- Lindsay, W.L., & Norwell, W.A. (1978). Department of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science of America Journal, 42, 421-428.
- Liu, E., Chen, B., Yan, C., Zhang, Y., Mei, X., & Wang, J. 2015. Seasonal changes and vertical distributions of soil organic carbon pools under conventional and no-till practices on Loess Plateau in China. Soil Science Society of America Journal, 79, 517-526.
- Lopez, G., Ahmadi, S.H., Amelung, W., Athmann, M., Ewert, F., Gaiser, T., Gocke, M.I., Kautz, T., Postma, J., & Rachmilevitch, S. (2023). Nutrient deficiency effects on root architecture and root-to-shoot ratio in arable crops. Frontiers in Plant Science, 13, 1067498.
- Mirzashahi, K., Moeiri, M. & Noorgholipour, F. (2019). Yield response of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) to phosphorus application and its efficiency indices. Iranian Agricultural Research 18(4), 477-488. (In Persian).
- Mohammadi, Z., Barani Motlagh, M., Asadi, M. E., Movahedi Naeini, S. A. & Sefidgar Shahkalai, S. (2019). The effect of different tillage managements on mineral forms of soil phosphorus. Soil and Water Science, 30 (4): 1-14. (In Persian).
- Noorgholipour, F. (2018). Optimization of fertilizer recommendations for new safflower cultivars in hot and cold regions of Iran, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Extension and Education Organization, Karaj, Iran. (In Persian).
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watnab, F.S., & Decan, L.A. (1954). Estimation of available phosphorous in soil by extra action with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture.
- Onnabi Milani, A. & Salek Zamani, A. (2015). Studying the effect of tillage type on soil moisture and permeability and safflower yield, Water Research in Agriculture 29(2): 195-207. (In Persian).
- Pavinato, P.S., Merlin, A., & Rosolem, C.A. (2009). Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. Soil and Tillage Research, 105, 149-155.
- Prathap, V., Kumar, A., Maheshwari, C., & Tyagi. (2022). A. Phosphorus homeostasis: Acquisition, sensing, and long-distance signaling in plants. Molecular Biology Reports, 49, 8071-8086.
- Roosbeh, M. (2015). Effects of soil tillage and phosphorus management on phosphorus stratification in grain corn production system. Journal of Iranian Agricultural Research 14 (3), 494-502. (In Persian).
- Saadat, S., (2019). Final report of agricultural soil quality monitoring. Soil and Water Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), (In Persian).
- Saadat, S., Rezaei, H., Bagheri, Y. R., Mirkhani, R. & Esmaeil Nejad, L. (1402). Salinity map of agricultural



- soils of Iran, Technical Publication No. 630, National Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. (In Persian).
- Salek Zamani, A. (2012). The effect of different tillage methods on safflower yield. *Crop Ecology*, 8(1), 41-48. (In Persian).
- Selles, F., Kochhann, R.A., Denardin, J.E., Zenter, R.P., & Faganello, A. (1997). Distribution of phosphorus in a Brazilian oxisol under different tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 44, 23-34.
- Tomanian, N. (2013). A detailed soil study of the Kabutarabad Agricultural Research Station. Soil and Water Research Institute, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, pp. 1-73. Technical Report no: 1776. (In Persian).
- Walkey, A., & Black, T.A. (1934). An examination of the Degtjaref method for determining organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Zhang, X., Zhu, A., Xin, X., Yang, W., Zhang, J., & Ding, S. (2018a). Tillage and residue management for long-term wheat-maize cropping in the North China Plain: I. Crop yield and integrated soil fertility index. *Field Crops Research*, 221, 157-165.
- Zhang, Y., Wang, S., Wang, H., Wang, R., Wang, X., & Li, J. (2018b). Crop yield and soil properties of dryland winter wheat-spring maize rotation in response to 10-year fertilization and conservation tillage practices on the Loess Plateau. *Field Crops Research*, 225, 170-179.