

Evaluation of the Effect of Soil Fertility Management Scenarios on the Amount of Available Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Soil in Six Consecutive Cultivations

Seyed Ali Ghaffari Nejad*, Farhad Moshiri and Seyed Majid Mousavi¹

(Received: January 12-2025 ; Revised: February 16-2025 ; Accepted: April 13-2025)

1. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

*: Corresponding author Email: ma_ghaffari51@yahoo.com

Abstract

This study was conducted to evaluate soil fertility management scenarios including separate use of chemical and organic fertilizers (animal manure and municipal waste compost) and their integrated application on changes in the amount of available nitrogen, phosphorus, and potassium in the soil from November 2017 for four years in six consecutive crops at the Agricultural Research Station of the Soil and Water Research Institute. The results showed a depletion of 14 and 44% of soil available nitrogen and phosphorus, and no depletion of available potassium in the treatment without fertilizer in six consecutive cultivations. Annual consumption of 20 t ha⁻¹ of municipal waste compost and 75% of the recommended nitrogen showed the highest amount of soil-available nitrogen. Unlike phosphorus, the amount of soil available nitrogen in municipal waste compost treatments was significantly higher than in cattle manure. The highest available soil phosphorus was in the treatment with 10 t ha⁻¹ of cattle manure before each crop, and the average available phosphorus in six consecutive cultivations was significantly higher than in the other treatments. The use of 10 t ha⁻¹ of cattle manure and municipal waste compost before each crop resulted in the highest accumulation of potassium in the soil, respectively. The available soil potassium in cattle manure treatments was significantly higher than in municipal waste compost. The results of this experiment indicated the importance of using fertilizers containing nitrogen, phosphorus, and potassium in maintaining soil fertility stability in the long term.

Keywords: Organic fertilizer, Cattle manure, Municipal waste compost, Soil fertility management

How to cite this article: Ghaffari Nejad, S. A., Moshiri, F., and Mousavi, S. M. 2025. Evaluation of the Effect of Soil Fertility Management Scenarios on the Amount of Available Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Soil in Six Consecutive Cultivations. *J. Water and Soil Sci.* 29(2):125-141. DOI: [10.47176/jwss.29.2.36101](https://doi.org/10.47176/jwss.29.2.36101)

Copyright © 2025 Ghaffari Nejad et al. Published by Isfahan University of Technology.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

ارزیابی اثر سناریوهای مدیریت حاصلخیزی خاک بر مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در شش کشت متوالی

سید علی غفاری نژاد*^{id}، فرهاد مشیری و سید مجید موسوی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱/۲۴)

۱. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ma_ghaffari51@yahoo.com

چکیده

این پژوهش به منظور ارزیابی سناریوهای مدیریت حاصلخیزی خاک شامل استفاده جداگانه از کودهای شیمیایی و آلی (کود دامی و کمپوست زباله شهری) و مصرف تلفیقی آنها بر تغییرات میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک از آبان سال ۱۳۹۶ به مدت چهار سال در شش کشت متوالی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب اجرا شد. نتایج، تخلیه ۱۴ و ۴۴ درصدی نیتروژن و فسفر قابل جذب خاک و عدم تخلیه پتاسیم قابل جذب در تیمار بدون مصرف کود در شش کشت متوالی را نشان داد. مصرف سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار و ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، بیشترین مقدار نیتروژن قابل جذب خاک را نشان داد. مقدار نیتروژن قابل جذب خاک بر خلاف فسفر در تیمارهای کمپوست زباله شهری به طور معنی دار بیشتر از کود گاوی بود. بیشترین مقدار فسفر قابل جذب خاک در تیمار مصرف ۱۰ تن کود گاوی در هکتار قبل از هر کشت بود که میانگین فسفر قابل استفاده آن در شش کشت متوالی به طور معنی دار بیشتر از بقیه تیمارها بود. استفاده از ۱۰ تن در هکتار کود گاوی و کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت به ترتیب سبب بیشترین میزان تجمع پتاسیم در خاک شد. میزان پتاسیم قابل استفاده خاک در تیمارهای حاوی کود گاوی به طور معنی داری بیشتر از تیمارهای حاوی کمپوست زباله شهری بود. نتایج این آزمایش بیانگر اهمیت استفاده از کودهای حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در حفظ پایداری حاصلخیزی خاک در درازمدت بود.

واژه‌های کلیدی: کود آلی، کود گاوی، کمپوست زباله شهری، مدیریت حاصلخیزی خاک

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۴.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت

شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقدمه

نیتروژن، فسفر و پتاسیم از عناصر پرمصرف ضروری برای رشد گیاه هستند. کمبود نیتروژن در بیشتر خاک‌های زراعی و کمبود فسفر و پتاسیم به ترتیب در ۷۰ و ۳۰ درصد از خاک‌های ایران گزارش شده است (۲۰). توسعه روش‌های کارا و پایدار برای مدیریت نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک چالش جدی در مدیریت حاصلخیزی خاک، به ویژه در کشاورزی متراکم با مصرف زیاد عناصر غذایی است. سناریوهای مختلفی در تأمین عناصر غذایی قابل جذب خاک معرفی شده است. استفاده از کودهای شیمیایی دارای این عناصر به عنوان سناریوی معمول به منظور بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک پذیرفته شده است. به تازگی پژوهشگران مختلف گزارش کرده‌اند که استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی و آلی در حال تبدیل شدن به یک سناریوی کاملاً امیدوارکننده برای حفظ بهره‌وری و پایداری بیشتر در تولید محصول و کاهش آثار زیست محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی است (۱ و ۲۵). استفاده همزمان از منابع آلی و شیمیایی در مقایسه با استفاده هر کدام از این منابع به طور جداگانه توسط پژوهشگران مختلف توصیه شده است (۲، ۱۹ و ۲۳).

کود دامی و کمپوست زباله شهری دارای مقادیر زیادی از عناصر غذایی قابل جذب هستند (۵، ۱۰، ۱۴، ۲۷ و ۳۰). این منابع با طبیعت سازگار بوده و سبب بهبود ویژگی‌های خاک می‌شوند (۳۰). گزارش‌های زیادی مبنی بر استفاده از کود دامی و کمپوست زباله شهری در افزایش میزان عناصر غذایی قابل جذب خاک وجود دارد (۱۱، ۱۷، ۲۱، ۲۷ و ۳۳).

مرجوی و مشایخی (۱۵) گزارش کردند که استفاده از کمپوست زباله شهری به میزان ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار سبب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک شد. سیلسپور (۲۴) گزارش کرد، استفاده از ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری سبب افزایش میزان نیترات خاک از ۷/۴ به ۹/۸ و ۱۳/۴ میلی گرم در کیلوگرم شد. قادری و همکاران (۸) گزارش کردند که استفاده از کمپوست زباله شهری به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار سبب افزایش

معنی‌دار میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک شد.

زاگاردلی و همکاران (۳۲) گزارش کردند که استفاده از ۳۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری در هکتار سبب افزایش میزان نیتروژن کل خاک شد. شهید و همکاران (۲۶) گزارش کردند که استفاده از کود دامی سبب افزایش نیتروژن قابل جذب خاک شد. استفاده تلفیقی از کود دامی به میزان ۱۰ تن در هکتار و سوپر فسفات تریپل به میزان ۹۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش معنی‌دار میزان فسفر قابل جذب خاک شد (۱).

این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیر سناریوهای مدیریت حاصلخیزی خاک شامل استفاده از کودهای شیمیایی، آلی و استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی و آلی بر وضعیت و روند تغییر نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در شش کشت متوالی و ارزیابی امکان جایگزینی بخشی از کودهای شیمیایی دارای این عناصر با کودهای آلی، اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از آبان سال ۱۳۹۶ به مدت چهار سال زراعی در شش کشت متوالی گندم (پاییز ۱۳۹۶)، آیش (بهار ۱۳۹۷)، گندم (پاییز ۱۳۹۷)، ذرت (بهار ۱۳۹۸)، گندم (پاییز ۱۳۹۸)، آیش (بهار ۱۳۹۹)، کلزا (پاییز ۱۳۹۹)، ذرت (بهار ۱۴۰۰) در زمینی به مساحت ۲۵۰۰ متر مربع در کرت‌های با ابعاد ۱۰ در ۲۰ متر (۲۰۰ مترمربع) در ایستگاه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج با تیمارهای زیر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به مرحله اجرا درآمد.

T1-نکاشت

T2- شاهد بدون مصرف کود

T3- کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک

T4- ۲۰ تن در هکتار کود گاوی یک سال در میان + کود شیمیایی نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده بر اساس آزمون خاک.

T5- ۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری یک سال در میان + کود شیمیایی نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان

۵۰٪ توصیه شده بر اساس آزمون خاک

T6- ۲۰ تن در هکتار کود گاوی هر سال

T7- ۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری هر سال

T8- ۱۰ تن کود گاوی قبل از هر کشت

T9- ۱۰ تن کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت

T10- ۲۰ کود گاوی یک سال در میان+ کودهای نیتروژن، فسفر

و پتاسیم بر اساس آزمون خاک

قبل از کشت اول نمونه برداری از خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی متر) انجام و برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک به روش های استاندارد در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه گیری شد (۴) (جدول ۱). کودهای آلی قبل از کشت به طور یکنواخت در سطح خاک پخش و با دیسک تا عمق ۲۰ سانتی متری با خاک مخلوط شدند. کودهای شیمیایی بر اساس دستورالعمل های منطقه ای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه برای گندم، کلزا و ذرت مصرف شدند. کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز به ترتیب از منبع اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم تأمین شد. میزان مصرف کود نیتروژن بر اساس آزمون خاک برای گندم، کلزا و ذرت به ترتیب ۳۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. میزان کود فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک قبل از هر کشت به ترتیب ۱۵۰ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار بود. کودهای فسفوری و پتاسیمی به صورت نواری همزمان با کشت به وسیله دستگاه بذرکار-کودکار مصرف شد. بعد از هر کشت نمونه برداری از خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی متر) برای اندازه گیری نیتروژن (آمونیاکی و نیتراته)، فسفر و پتاسیم قابل جذب به روش های استاندارد در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد (۴). نتایج به دست آمده توسط روش آماری طرح بلوک های کامل تصادفی و با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل شد. به منظور رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج

ویژگی های خاک محل اجرا و کودهای آلی مورد استفاده در این آزمایش در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است.

تأثیر تیمارهای آزمایش بر میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در همه کشت ها معنی دار بود (جدول های آنالیز واریانس جداگانه کشت ها نشان داده نشده است). آنالیز واریانس مرکب (جدول ۳) نشان داد تأثیر تیمارهای آزمایش بر میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک معنی دار بود.

تأثیر تیمارهای سناریوهای مدیریت حاصلخیزی خاک بر

میزان نیتروژن قابل جذب خاک

در تیمار نکاشت میزان نیتروژن قابل جذب خاک در محدوده ۶/۴۹ تا ۱۸/۵۷ (میانگین ۱۲/۲۸ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود که از کشت سوم به بعد روند افزایشی را نشان داد (جدول ۴). در تیمار شاهد بدون مصرف کود با وجود عدم استفاده از منابع کودی شیمیایی و آلی، میزان نیتروژن قابل جذب خاک در محدوده ۱/۵۵ تا ۲۲/۰۳ (میانگین ۱۰/۵۳ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. میانگین غلظت نیتروژن قابل جذب در این تیمار به طور معنی دار کمتر از تیمار نکاشت بود. مقایسه میانگین نیتروژن قابل جذب در این تیمار و تیمار شاهد بدون مصرف کود نشان دهنده تخلیه نیتروژن قابل جذب خاک به میزان حدود ۱۴ درصد بود. غلظت نیتروژن قابل جذب در تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک بین ۳/۰۷ تا ۲۵/۷ (میانگین ۱۱/۹۵ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. میانگین غلظت نیتروژن قابل جذب در این تیمار با تیمار شاهد بدون مصرف کود تفاوت معنی دار داشت؛ اما با تیمار نکاشت تفاوت معنی دار نشان نداد. در تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن گاوی و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده، مقدار نیتروژن قابل جذب بین ۲/۹۱ تا ۲۳/۹۹ (میانگین ۱۲/۴۴ میلی گرم در کیلوگرم) قرار داشت. میانگین غلظت نیتروژن قابل جذب در این تیمار با تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک تفاوت معنی دار نشان نداد. در تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده، غلظت نیتروژن قابل جذب بین ۳/۶۴ تا ۱۷/۵۳ (میانگین ۱۱/۹۸ میلی گرم در کیلوگرم) قرار داشت.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

پH	هدایت الکتریکی	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	نیترات	آمونیم	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	منگنز قابل جذب	روی قابل جذب	مس قابل جذب	ر	سیلت	ش	باقی	ظرفیت تبادل کاتیونی
dS/m	%	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%	%	%	Cmol+ kg ⁻¹	
۸/۲	۱/۱	۰/۴۹	۱۲/۵	۱۷/۸	۱/۷	۵/۸	۲۱۸	۱/۶۳	۵/۷	۰/۹۸	۰/۹۳	۲۵/۰	۳۸/۰	۳۷/۰	لوم	۱۶/۱

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده

نوع کود آلی	pH*	EC*	کربن آلی	نیترژن کل	فسفر کل	پتاسیم کل	افت در ۴۰۰ درجه	نیترات	آمونیم	آهن کل	منگنز کل	روی کل	مس کل	کادمیم کل	سرب کل
		ds m ⁻¹			%							mg kg ⁻¹			
کود گاوی	۹/۱	۱۴/۰	۲۰/۹	۱/۵۵	۱/۱۲	۰/۶۳	۳۶/۰	۵۰	۷۰۰۰	۳۸۰۰	۲۷۶	۲۳۱	۶۶	۰/۲	۷/۳
کمپوست زباله شهری	۷/۶	۱۰/۶	۱۷/۴	۱/۳۵	۰/۸	۲/۰	۳۰/۵	۵۰	۱۹۰۰	۱۳۸۳۵	۴۳۱	۶۵۰	۳۴۱	۴/۶	۱۲۱/۲

* اندازه‌گیری شده در عصاره ۱:۵

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب نیترژن قابل جذب، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	نیترژن قابل جذب	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
تکرار	۲	۱۰/۷۲ ^{ns}	۵/۰۲ ^{ns}	۱۷۹/۸۰ ^{ns}
تیمار	۹	۷۱/۳۰ ^{**}	۵۴/۳۸ ^{**}	۳۸۳۰۵/۵ ^{**}
کشت	۵	۱۲۵۸/۹ ^{**}	۱۷۹/۵۷ ^{**}	۴۰۸۷۹/۰ ^{**}
تکرار (کشت)	۱۰	۲/۹۰ ^{ns}	۱/۹۷ ^{ns}	۹۲۵/۷ ^{ns}
تیمار*کشت	۴۵	۴۸/۳۹ ^{**}	۴۰/۳۶ ^{**}	۶۰۵۱/۹ ^{**}
خطا	۱۰۸	۴/۲۰	۱/۹۱	۱۸۴۶/۶
CV		۱۵/۴۹	۱۹/۵۰	۱۹/۳۶

** و *: اختلاف به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی دار است، ns: از لحاظ آماری معنی دار نیست.

میانگین غلظت نیترژن قابل جذب در این تیمار با تیمارهای مصرف کود بر اساس آزمون خاک و مصرف یک سال در میان ۲۰ تن گاوی و نیترژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۲۴/۳۰ تا ۱۲/۵۵ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. سالانه ۲۰ تن کود گاوی، غلظت نیترژن قابل جذب بین ۷/۱۴ تا ۵۰٪ توصیه شده تفاوت معنی دار نشان نداد. در تیمار مصرف

جدول ۴. مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای آزمایش بر اساس آزمون دانکن بر میزان نیتروژن قابل جذب (نیترا نه و آمونیاکی) در خاک ایستگاه کرج

نیتروژن قابل جذب (mg/kg)							
تیمار	کشت اول (گندم)	کشت دوم (گندم)	کشت سوم (ذرت)	کشت چهارم (گندم)	کشت پنجم (کلزا)	کشت ششم (ذرت)	میانگین
T1	۱۰/۲۷BCb	۱۷/۶۲Aa	۶/۴۹Dabc	N/۵۴CDcde	۱۲/۱۹Bab	۱N/۵۷Ae	۱۲/۲۸e
T2	۹/۳۳BCb	۱۲/۵۱Bbc	۱/۵۵Dd	۷/۸۹Cde	۹/۸۷BCb	۲۲/۰۳Adc	۱۰/۵۳d
T3	۹/۳۳Bb	۱۲/۱۳Bbc	۲/۰۷Cc	۱۱/۹۰Bc	۹/۵۸Bb	۲۵N/۰Abcd	۱۱/۹۵c
T4	۱۱/۹۵Bab	۱۱/۷۶Bbcd	۲/۹۱Cc	۱۲/۲۵Bc	۱۱/۷۷Bab	۲۳/۹۹Ac	۱۲/۴۴c
T5	۱۲/۴۳Bab	۱۰/۱۷BCcde	۳/۶۴Dbcd	۶/۴۲CDe	۱۱/۷۱Bab	۲۷/۵۳Abc	۱۱/۹۸c
T6	۹/۸۹BCb	۱۰/۹۷Bcbcd	۷/۱۴Cab	۱۰/۲۹BCcd	۱۲/۷۱Bab	۲۴/۳۰Abcd	۱۲/۵۵c
T7	۱۵/۴۹Ba	۱۳/۳۵BCb	۹/۴۷Ca	۱۹/۷۴Ab	۱۴/۳۶Ba	۲۳/۸۰Ac	۱۶/۰۳a
T8	۱۱/۵۷BCab	N/۳۵BCe	N/۰۹Ca	۱۲/۰۴Bc	۹/۹۱BCb	۲۹/۰۷Ab	۱۳/۱۷bc
T9	۱۱/۷۶CDab	N/۸۷Dde	۹/۱۰D a	۱۷/۰۸Bb	۱۴/۳۵BCa	۴۰/۶۹Aa	۱۶/۹۷a
T13	۹/۶۴CDb	۹/۹۹CDcde	N/۱۲Da	۲۷/۶۳Aa	۱۲/۵۳Cab	۱N/۲۵Be	۱۴/۳۶b

اعداد با حروف مشابه کوچک اختلاف معنی دار در تیمارها و با حروف بزرگ اختلاف معنی دار در کشت‌ها در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

T1) تکاشت، T2) شاهد بدون مصرف کود، T3) کودهای شیمیایی توصیه شده T4) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T5) ۲۰ تن کمپوست زیاده شهری هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T6) سالانه ۲۰ تن کود گاوی + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T7) سالانه ۲۰ تن کمپوست زیاده شهری + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T8) سالانه ۲۰ تن کود گاوی (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T9) سالانه ۲۰ تن کمپوست زیاده شهری (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T13) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + کودهای شیمیایی توصیه شده.

تأثیر سناریوهای مدیریت حاصلخیزی خاک بر میزان فسفر قابل جذب خاک

در تیمار نکاشت فسفر قابل جذب در محدوده ۳/۹۳ تا ۹/۳۳ (میانگین ۵/۹۶ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود (جدول ۵). در تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفر قابل جذب بین ۱/۹۳ تا ۴/۹۳ (میانگین ۳/۳۶ میلی گرم در کیلوگرم) بود. فسفر قابل جذب در این تیمار از ۴/۹۳ در کشت اول به ۱/۹۳ میلی گرم در کیلوگرم در کشت چهارم کاهش یافت که تخلیه شدید فسفر در این تیمار را نشان داد (جدول ۵)؛ اما از کشت پنجم مقدار آن افزایش یافت. به نظر می آید تعادل فسفر به سمت تأمین آن از منابع غیر قابل جذب به سمت فسفر قابل جذب جابه جا شد. میانگین فسفر قابل جذب در این تیمار به طور معنی دار کمتر از تیمار نکاشت بود که نشان دهنده تخلیه فسفر قابل جذب به میزان حدود ۴۴ درصد در این تیمار در مقایسه با تیمار نکاشت بود. میزان فسفر قابل جذب در تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک در محدوده ۳/۶۶ تا ۱۳/۵ (میانگین ۷/۹۲ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. تفاوت معنی دار بین میانگین فسفر قابل جذب در این تیمار و تیمارهای نکاشت و شاهد بدون مصرف کود مشاهده شد که نشان داد استفاده از کود دارای فسفر سبب افزایش معنی دار میزان آن در خاک شد. نکته قابل توجه در این تیمار این بود که با وجود استفاده از کودهای دارای فسفر بر اساس آزمون خاک در این تیمار، مقدار قابل جذب این عنصر در خاک از محدوده بحرانی آن عبور نکرد؛ یعنی اگر هدف مدیریت تغذیه و حاصلخیزی خاک بهبود وضعیت عناصر غذایی در خاک باشد، باید بیشتر از توصیه بر اساس آزمون خاک از این عنصر استفاده شود. فسفر قابل جذب خاک در تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن گاوی و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده در محدوده ۴/۷۳ تا ۱۲/۲۳ (میانگین ۸/۲۱ میلی گرم در کیلوگرم) در کشت های مختلف متغیر بود. این تیمار گرچه فسفر خاک را در یک محدوده معین نگاه داشت؛ اما سبب افزایش آن به بیش از حد بحرانی فسفر خاک نشد. در تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری

میانگین غلظت نیتروژن قابل جذب در این تیمار با تیمارهای مصرف کود بر اساس آزمون خاک، مصرف یک سال در میان ۲۰ تن گاوی و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده و مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده تفاوت معنی دار نداشت. در تیمار مصرف سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری غلظت نیتروژن قابل جذب بین ۹/۴۷ تا ۲۳/۸۰ (میانگین ۱۶/۰۳ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. میانگین غلظت نیتروژن قابل جذب در این تیمار به طور معنی دار بیشتر از همه تیمارها غیر از تیمار مصرف ۱۰ تن کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت بود. تفاوت معنی دار مقدار نیتروژن قابل جذب خاک در تیمار مصرف سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری با تیمار مصرف سالانه ۲۰ تن کود گاوی نشان داد، استفاده سالانه کمپوست زباله شهری در مقایسه با استفاده سالانه از کود دامی، میزان نیتروژن قابل جذب خاک را به طور معنی دار افزایش داد. غلظت نیتروژن قابل جذب در تیمار مصرف ۱۰ تن کود گاوی قبل از هر کشت در محدوده ۸/۰۹ تا ۲۹/۰۷ (میانگین ۱۳/۱۷ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. در تیمار مصرف ۱۰ تن کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت غلظت نیتروژن قابل جذب در محدوده ۸/۸۷ تا ۴۰/۶۹ (میانگین ۱۶/۹۷ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. میانگین غلظت نیتروژن قابل جذب در این تیمار به طور معنی دار بیشتر از همه تیمارها غیر از تیمار مصرف سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری بود. تفاوت معنی دار بین تیمار مصرف ۱۰ تن کود گاوی قبل از هر کشت و مصرف ۱۰ تن کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت نشان داد، استفاده از کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت در مقایسه با همین مقدار کود دامی سبب افزایش معنی دار نیتروژن قابل جذب خاک شد. غلظت نیتروژن قابل جذب در تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ کود گاوی و کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک بین ۸/۱۲ تا ۲۷/۶۳ (میانگین ۱۴/۳۶ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود.

جدول ۵. مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای آزمایش بر اساس آزمون دانکن بر میزان فسفر قابل جذب در خاک ایستگاه کرج

فسفر قابل جذب (mg/kg)							
تیمار	کشت اول (گندم)	کشت دوم (گندم)	کشت سوم (ذرت)	کشت چهارم (گندم)	کشت پنجم (کلزا)	کشت ششم (ذرت)	میانگین
T1	۹/۳۳Aabc	۳/۹۳Cc	۶/۱۳BCab	۳/۴۴Cd	۸/۳۳ABab	۴/۶۰Cc	۵/۹۶c
T2	۴/۹۳Ac	۲/۸۷BCc	۲/۴۷CDe	۱/۹۳De	۳/۴۷Bd	۴/۴۷Ac	۳/۳۶f
T3	۷/۶۰Bbc	۱۳/۵۰Aa	۶/۳۳BCab	۳/۶۶Ccd	۷/۳۷Babc	۸/۹۳Bb	۷/۹۲bc
T4	۱۰/۸۰Aab	۱۲/۲۳Aa	۴/۷۳Babc	۵/۱۶Bb	۵/۸۷Bbcd	۱۰/۴۷Ab	۸/۲۱b
T5	۸/۱۳Babc	۱۳/۵۳Aa	۴/۵۳Dabc	۳/۳۱Dd	۵/۵۷Cdbcd	۷/۶۰BCbc	۷/۱۱cd
T6	۷/۵۳Bbc	۵/۲۰Cbc	۴/۶۷Cabc	۴/۲۳Cc	۹/۰۰ABa	۹/۴۸Ab	۶/۶۸de
T7	۸/۲۰Aabc	۶/۵۳Ab	۳/۸۷Bbc	۳/۴۳Bd	۵/۸۷ABbcd	۷/۶۷ABc	۵/۹۳c
T8	۶/۰۰BCbc	۴/۰۰Cbc	۷/۵۳Ba	۶/۵۹Ba	۷/۸۷Bab	۲۶/۰۰Aa	۹/۶۶a
T9	۷/۴۷ Bbc	۴/۵۳Cbc	۳/۶۰Cbc	۶/۳۳BCa	۴/۹۳BCcd	۲۲/۵۳Aa	۸/۲۳b
T13	۱۴/۰۷Aa	۴/۲۰Cbc	۴/۸۰Cabbc	۶/۸۹BCa	۷/۶۰Babc	۹/۵۳Bb	۷/۸۵bc

اعداد با حروف مشابه کوچک اختلاف معنی دار در تیمارها و با حروف بزرگ اختلاف معنی دار در کشت‌ها در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

T11 تکاشت، T12 شاهد بدون مصرف کود، T13 کودهای شیمیایی توصیه شده T14 ۲۰ تن کود گاو هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T15 ۲۰ تن کمپوست زیاله شهری هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T16 سالانه ۲۰ تن کود گاو + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T17 سالانه ۲۰ تن کمپوست زیاله شهری + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T18 سالانه ۲۰ تن کود گاو (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T19 سالانه ۲۰ تن کمپوست زیاله شهری (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T20 ۲۰ تن کود گاو هر دو سال یکبار + کودهای شیمیایی توصیه شده.

و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده، میزان فسفر قابل جذب خاک در محدوده ۳/۳۱ تا ۱۳/۵۳ (میانگین ۷/۱۱ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. تفاوت معنی دار بین میانگین میزان فسفر قابل جذب در تیمارهای مصرف یک سال در میان ۲۰ تن گاو و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده و مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده با تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک دیده نشد. این امر نشان داد در شرایط آزمایش حاضر می توان با استفاده از ۲۰ تن کود دامی یا کمپوست زباله شهری در هکتار هر دو سال یکبار، ۵۰ درصد از مصرف کود شیمیایی فسفره بر اساس آزمون خاک را بدون کم شدن فسفر قابل جذب خاک، کم کرد. میانگین فسفر قابل جذب خاک در تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کود گاو و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده، به طور معنی دار بیشتر از تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده بود که نشان داد استفاده از کود دامی نسبت به کمپوست زباله شهری فسفر قابل جذب خاک را به مقدار بیشتری افزایش داد. میزان فسفر قابل جذب خاک در تیمار مصرف سالانه ۲۰ تن کود گاو در محدوده ۴/۲۳ تا ۹/۴۸ (میانگین ۶/۶۸ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. روند افزایش فسفر خاک در سه کشت آخر دیده شد. میانگین فسفر قابل جذب خاک در تیمار مصرف سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در محدوده ۳/۴۳ تا ۸/۲۰ (میانگین ۵/۹۳ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. میزان فسفر قابل جذب در تیمارهای مصرف سالانه ۲۰ تن کود گاو و مصرف سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری به طور معنی دار کمتر از تیمار شاهد بدون مصرف کود بود که نشان داد، استفاده هر ساله از ۲۰ تن کود دامی یا کمپوست زباله شهری، مقدار فسفر قابل جذب خاک را به میزان مصرف آن بر اساس آزمون خاک افزایش نداد. در تیمار مصرف ۱۰ تن کود گاو قبل از هر

کشت فسفر قابل جذب خاک در محدوده ۴ تا ۲۶ (میانگین ۹/۶۶ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود که در کشت های آخر روند افزایشی را نشان داد. فسفر قابل جذب در این تیمار به طور معنی دار بیشتر از تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک بود که نشان داد استفاده از ۱۰ تن کود گاو قبل از هر کشت میزان فسفر قابل جذب را بیشتر از مصرف کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک افزایش داد. فسفر قابل جذب خاک در تیمار مصرف ۱۰ تن کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت در محدوده ۳/۶ تا ۲۲/۵۳ (میانگین ۸/۲۳ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. میانگین غلظت فسفر در این تیمار تفاوت معنی دار با تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک نداشت. استفاده از ۱۰ تن کمپوست زباله شهری در هر کشت فسفر قابل جذب خاک را به میزان مصرف کود فسفره بر اساس آزمون خاک افزایش داد. میانگین فسفر قابل جذب خاک در تیمار مصرف ۱۰ تن کود گاو قبل از هر کشت به طور معنی دار بیشتر از تیمار مصرف ۱۰ تن کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت بود که نشان داد استفاده از کود گاو فسفر قابل جذب خاک را بیشتر از استفاده از کمپوست زباله شهری افزایش داد. مقدار فسفر قابل جذب خاک در تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کود گاو و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده در محدوده ۴/۲۰ تا ۱۴/۰۲ (میانگین ۷/۸۵ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. تفاوت معنی دار بین میانگین فسفر قابل جذب در این تیمار و تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک وجود نداشت. دلیل عدم افزایش فسفر قابل جذب خاک در این تیمار در مقایسه به تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک احتمالاً ظرفیت تثبیت فسفر در خاک بود که به فسفر قابل جذب خاک اجازه افزایش بیش از حد را نمی داد.

تأثیر سناریوهای مدیریت حاصلخیزی خاک بر میزان پتاسیم قابل جذب خاک

میزان پتاسیم قابل جذب خاک در تیمار نکاشت در محدوده ۱۲۰/۸ تا ۱۸۸/۳ (میانگین ۱۵۲/۸ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود (جدول ۶). در تیمار شاهد بدون مصرف کود مقدار پتاسیم

جدول ۶. مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای آزمایش بر میزان پتاسیم قابل جذب، به روش آزمون دانکن در ایستگاه کرج

پتاسیم قابل جذب (mg/kg)						
تیمار	کشت اول (گندم)	کشت دوم (گندم)	کشت سوم (ذرت)	کشت چهارم (گندم)	کشت پنجم (کلزا)	کشت ششم (ذرت)
میانگین						
T1	۱۸۱/۷/Ab	۱۴۳/۳Bc	۱۴۵/۰Bcd	۱۲۰/ACd	۱۸۸/۳Abc	۱۳۸/۰BCc
T2	۲۳۰/۰Aab	۲۰۰/۰ABbc	۱۷۶/۷Bbcd	۱۷۹/۵Babcd	۲۱۳/۳ABbc	۲۰۵/۰ABc
T3	۲۶۰/۰Aab	۲۰۳/۳ABCabc	۱۷۸/۳BCbcd	۱۷۳/۵Cbcd	۲۵۰/۰ABabc	۲۱۵/۰ABCc
T4	۲۹۸/۳Aa	۱۹۳/۳Cbc	۱۵۸/۳Ccd	۲۰۳/۵BCabcd	۲۵۱/۷ABabc	۲۶۵/۰Abc
T5	۲۴۰/۰Aab	۱۸۸/۳CDbc	۱۵۸/۳Ecd	۱۶۴/ADbced	۲۰۱/۷BCbc	۲۲۳/۳ABc
T6	۲۵۰/۰Bab	۱۹۵/۰Bbc	۱۹۵/۰Babc	۲۰۶/ABabcd	۳۲۶/۷Aa	۲۴۸/۳Bbc
T7	۲۶۵/۰Aa	۲۶۷/۷Aa	۲۱۱/۷BCab	۲۰۹/۴Cabc	۲۶۳/۳ABabc	۲۴۸/۳ABCbc
T8	۲۹۶/۷Ba	۲۳۰/۰Bab	۲۴۸/۳Ba	۲۶۷/۴Ba	۲۷۱/۷Bab	۵۲۰/۰Aa
T9	۲۷۰/۰Ba	۲۲۳/۳Bab	۱۸۸/۷Bbc	۲۴۰/۱Bab	۲۴۵/۰Babc	۴۶۱/۷Aa
T13	۲۳۱/۷Aab	۱۴۸/۳Cc	۱۳۵/۳Cd	۱۴۷/۱Ccd	۱۵۶/۷BCc	۱۹۰/۰Bc
T13						۱۶۸/۱gh

اعداد با حروف مشابه کوچک اختلاف معنی دار در تیمارها و با حروف بزرگ اختلاف معنی دار در کشت‌ها در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

T1) نکاشت، T2) شاهد بدون مصرف کود، T3) کودهای شیمیایی توصیه شده، T4) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T5) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T6) ۵۰ سالانه ۲۰ تن کود گاوی + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T7) ۲۰ سالانه ۲۰ تن کمپوست زیاده شهری + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T8) ۲۰ سالانه ۲۰ تن کود گاوی (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T9) ۲۰ سالانه ۲۰ تن کمپوست زیاده شهری (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T13) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + کودهای شیمیایی توصیه شده.

قابل جذب در محدوده ۱۷۶/۷ تا ۲۳۰ (میانگین ۲۰۰/۷ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. هرچند مقدار آن از ۲۳۰ در کشت اول به ۲۰۵ میلی گرم در کیلوگرم در کشت ششم کاهش یافت. اما مقایسه میانگین میزان پتاسیم قابل جذب در این تیمار و تیمار نکاشت نشان داد، مقدار پتاسیم قابل جذب خاک با وجود عدم استفاده از کودهای شیمیایی و آلی حاوی پتاسیم افزایش نشان داد. پتاسیم قابل جذب خاک در تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک در محدوده ۱۷۳/۵ تا ۲۶۰ (میانگین ۲۱۳/۴ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. استفاده از این عنصر بر اساس آزمون خاک سبب تجمع این عنصر در خاک نشد. تفاوت معنی دار بین میانگین پتاسیم قابل جذب خاک بین این تیمار و تیمار شاهد بدون مصرف کود دیده نشد. در تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کود گاوی و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده، مقدار پتاسیم قابل جذب در محدوده ۱۵۸/۳ تا ۲۹۸/۳ (میانگین ۲۲۸/۳ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. تفاوت معنی دار بین مقدار پتاسیم قابل جذب در این تیمار و تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک وجود نداشت. در تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده، مقدار پتاسیم قابل جذب در محدوده ۱۵۸/۳ تا ۲۴۰ (میانگین ۱۹۶/۱ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود که تفاوت معنی دار با تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک نداشت. میزان پتاسیم قابل جذب در این تیمار به طور معنی داری کمتر از تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کود گاوی و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده بود.

در تیمار مصرف سالانه ۲۰ تن کود گاوی، میزان پتاسیم قابل جذب در محدوده ۱۹۵ تا ۳۲۶ (میانگین ۲۳۷ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. میانگین میزان پتاسیم قابل جذب در این تیمار به طور معنی داری بیشتر از تیمار شاهد بدون مصرف کود بود؛ اما با تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک تفاوت معنی دار نداشت. میانگین میزان پتاسیم قابل جذب در این تیمار

در بیشتر کشت ها با هم تفاوت معنی دار نداشت که نشان داد، این تیمار میزان پتاسیم خاک را در محدوده نزدیک به حد بحرانی آن ثابت نگه می دارد. در تیمار مصرف سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری، میزان پتاسیم قابل جذب در محدوده ۲۰۹/۴ تا ۲۶۷/۷ (میانگین ۲۴۵/۷ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود که به طور معنی دار بیشتر از تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک بود. این امر نشان داد استفاده از ۲۰ تن کود گاوی در هر سال در مقایسه با مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم بر اساس آزمون خاک، مقدار پتاسیم قابل جذب خاک را به طور معنی دار افزایش داد. در تیمار مصرف ۱۰ تن کود گاوی قبل از هر کشت، میزان پتاسیم قابل جذب خاک در محدوده ۲۳۰ تا ۵۳۰ (میانگین ۳۰۵ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود که به طور معنی داری بیشتر از سایر تیمارها بود. در تیمار مصرف ۱۰ تن کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت میزان پتاسیم قابل جذب در محدوده ۱۸۸/۱ تا ۴۶۱/۷ (میانگین ۲۷۱/۴ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. میانگین مقدار پتاسیم در این تیمار به طور معنی دار بیشتر از بقیه تیمارها غیر از تیمارهای مصرف سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری و مصرف ۱۰ تن کود گاوی قبل از هر کشت بود. تفاوت معنی دار پتاسیم قابل جذب در تیمارهای مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کود گاوی و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده با تیمار مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده و مصرف ۱۰ تن کود گاوی قبل از هر کشت و مصرف ۱۰ تن کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت نشان داد، پتاسیم قابل جذب در تیمارهای دارای کود دامی به طور معنی دار بیشتر از تیمارهای حاوی کمپوست زباله شهری بود.

در تیمار مصرف یک سال در میان کود گاوی و کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک مقدار پتاسیم قابل جذب خاک در محدوده ۱۳۵/۳ تا ۱۹۰ (میانگین ۱۶۸/۱ میلی گرم در کیلوگرم) متغیر بود. مقدار پتاسیم قابل جذب در این تیمار از کشت سوم روند افزایشی نشان داد و در

کشت آخر به ۱۹۰ میلی گرم در کیلوگرم رسید. نکته قابل توجه در این تیمار کمتر بودن میانگین مقدار پتاسیم قابل جذب در این تیمار نسبت به بیشتر سناریوهای مدیریت حاصلخیزی خاک در این آزمایش بود.

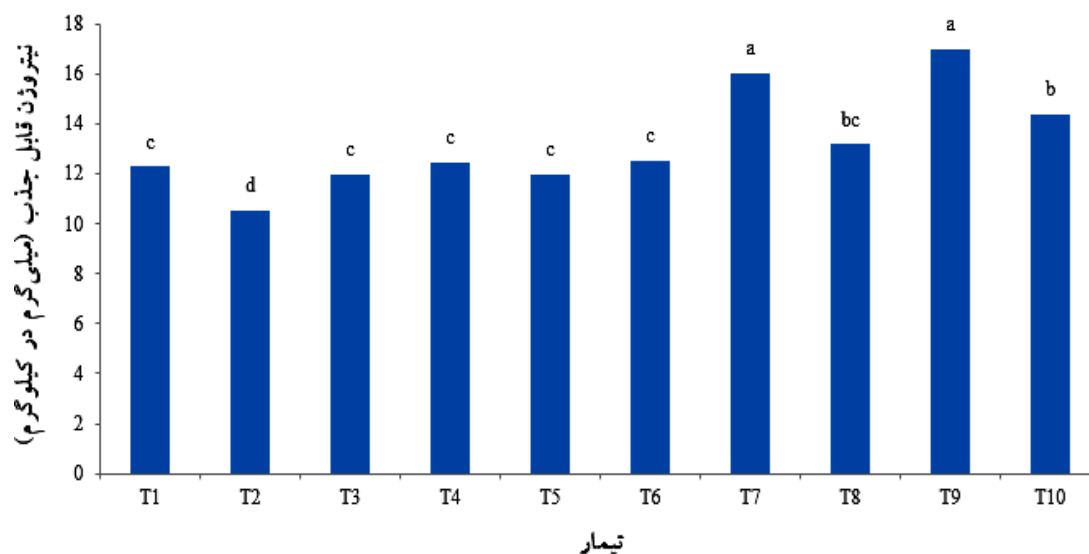
بحث و نتیجه گیری

خاک محل اجرای آزمایش (جدول ۱) خاکی قلیایی، با بافت و ظرفیت تبادل کاتیونی متوسط (لوم)، آهکی، فاقد محدودیت شوری، با کربن آلی کم و از نظر ویژگی های حاصلخیزی در حد متوسط بود. میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب آن کمتر از حد بحرانی میزان عناصر کم مصرف روی، منگنز و مس در حد بهینه و میزان آهن آن کمتر از حد بحرانی برای بیشتر گیاهان زراعی بود.

در تیمار نکاشت نیتروژن قابل جذب خاک متغیر بود و از روند خاصی پیروی نکرد (جدول ۳). میانگین نیتروژن قابل جذب خاک در تیمار شاهد بدون مصرف کود به طور معنی داری کمتر از سایر تیمارها بود (شکل ۱) که با توجه به عدم مصرف کودهای شیمیایی و آلی حاوی این عنصر در این تیمار طبیعی به نظر می آمد. والیا و همکاران (۲۹) گزارش کردند که کمترین میزان نیتروژن قابل جذب خاک در تیمار عدم مصرف کود دیده شد. در تیمار شاهد بدون مصرف کود نسبت به تیمار نکاشت تخلیه نیتروژن قابل جذب حدود ۱۴ درصد دیده شد که نشان دهنده اهمیت مصرف کود در تأمین نیتروژن خاک بود. نتایج این آزمایش نشان داد، مصرف یک سال در میان کود دامی و کمپوست زباله شهری به میزان ۲۰ تن در هکتار و کم کردن ۲۵ درصد از کود اوره در مقایسه با مصرف کود اوره بر اساس آزمون خاک، تأثیر معنی داری بر میزان نیتروژن قابل جذب خاک نداشت. استفاده یک سال در میان از کود دامی و کمپوست زباله شهری به میزان ۲۰ تن در هکتار تفاوت معنی دار از نظر تأمین نیتروژن قابل جذب خاک نداشتند. میانگین مقدار نیتروژن قابل جذب خاک در تیمار مصرف سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری به طور معنی دار بیشتر از تیمار مصرف سالانه ۲۰ تن کود گاوی بود (شکل ۱) که نشان داد استفاده از کمپوست زباله

شهری در مقایسه با استفاده از کود دامی، میزان نیتروژن قابل جذب خاک را به طور معنی دار افزایش داد. در مجموع میزان نیتروژن قابل جذب خاک در تیمارهایی که در آن ها از کمپوست زباله شهری استفاده شده بود، بیشتر از تیمارهایی بود که در آن ها از کود گاوی استفاده شده بود. میزان نیتروژن کل و قابل جذب در کود دامی بیشتر از کمپوست زباله شهری بود (جدول ۲)، اما به نظر می آید در کمپوست زباله شهری نیتروژن به شکل قابل استفاده تری وجود دارد. تفاوت معنی دار بین تیمار مصرف ۱۰ تن کمپوست زباله شهری قبل از هر کشت و تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک نشان داد، بدون استفاده از کود شیمیایی و استفاده از ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری می توان نیتروژن قابل جذب خاک را به میزان بیش از مصرف کود اوره بر اساس آزمون خاک افزایش داد. اضافه شدن نیتروژن قابل جذب خاک در اثر استفاده از کود آلی را می توان به آزاد شدن این عنصر در اثر تجزیه ماده آلی نسبت داد (۱۶). افزایش نیتروژن قابل جذب خاک در اثر استفاده از کودهای آلی توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۱۲ و ۲۶).

میانگین غلظت نیتروژن قابل جذب در تیمار ۲۰ مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کود گاوی و نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه شده به طور معنی دار بیشتر از تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک بود که نشان داد استفاده تلفیقی از کود دامی و شیمیایی در مقایسه با کود شیمیایی به تنهایی سبب افزایش معنی دار میزان نیتروژن قابل جذب خاک شد. نتایج مشابهی توسط والیا و دالی وال (۲۹) نیز گزارش شده است. میزان نیتروژن قابل جذب خاک در همه سناریوهای مدیریت حاصلخیزی خاک تفاوت معنی دار با تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک نداشت یا به طور معنی دار بیشتر از آن بود. این امر نشان داد در شرایط آزمایش حاضر استفاده از هر کدام از این سناریوها، میزان نیتروژن قابل جذب خاک را به اندازه مصرف کود نیتروژن بر اساس آزمون خاک یا بیشتر از آن افزایش داد. افزایش نیتروژن خاک در اثر استفاده از کود دامی به تنهایی یا همراه با کود دامی توسط سینگ و همکاران (۲۸) گزارش شده است.



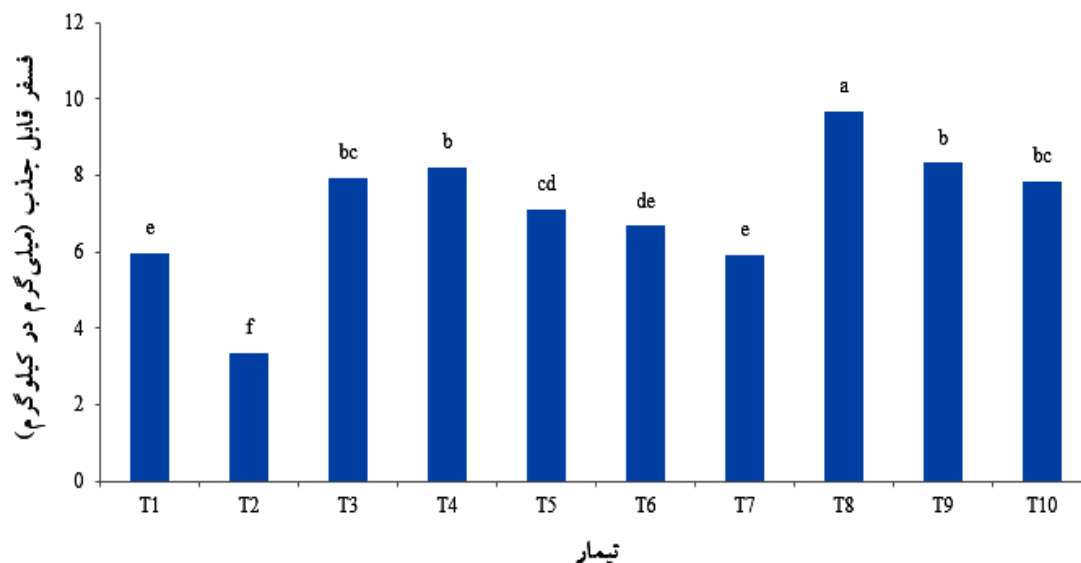
T1 (نکاشت، T2 شاهد بدون مصرف کود، T3 کودهای شیمیایی توصیه شده T4) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T5) ۲۰ تن کمپوست زباله شهری هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T6 سالانه ۲۰ تن کود گاوی + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T7 سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T8 سالانه ۲۰ تن کود گاوی (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T9 سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T10) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + کودهای شیمیایی توصیه شده.

شکل ۱. میانگین نیتروژن قابل جذب در تیمارهای آزمایشی

توصیه شده بر اساس آزمون خاک کود مصرف کرد. نتایج این آزمایش نشان داد با مصرف یک سال در میان ۲۰ تن کود دامی یا کمپوست زباله شهری در هکتار، می توان ۵۰ درصد از مصرف کود شیمیایی فسفره بر اساس آزمون خاک را بدون کم شدن فسفر قابل جذب خاک کم کرد. تجزیه کود آلی، لیگاند کردن فسفر، تجزیه و تخریب کانی های در اثر اسیدهای آلی ناشی از تجزیه کود آلی خاک و آزادسازی فسفر سبب افزایش میزان فسفر قابل استفاده خاک می شود. تیمارهایی که در آن ها از کود دامی استفاده شده بود، در مقایسه با کمپوست زباله شهری، مقدار فسفر قابل جذب خاک را به طور معنی دار افزایش داد. این وضعیت احتمالاً به دلیل فسفر کل بیشتر کود دامی مورد استفاده در این آزمایش در مقایسه با کمپوست زباله شهری بود (جدول ۲). استفاده هر ساله از ۲۰ تن کود گاوی یا کمپوست زباله شهری در مقایسه با مصرف فسفر بر اساس آزمون خاک سبب کم شدن مقدار قابل جذب این عنصر در خاک شد، اما استفاده از ۱۰ تن

کمترین مقدار فسفر قابل جذب خاک در تیمار شاهد بدون مصرف کود دیده شد که با توجه به عدم مصرف کودهای شیمیایی و آلی حاوی این عنصر این نتیجه منطقی بود (شکل ۲). در تیمار شاهد بدون مصرف کود نسبت به تیمار نکاشت، تخلیه فسفر قابل جذب حدود ۴۴ درصد دیده شد که نشان دهنده اهمیت استفاده از کودهای حاوی فسفر در حفظ پایدار حاصلخیزی خاک در شرایط این آزمایش بود؛ بنابراین عدم مصرف کودهای حاوی فسفر در درازمدت منجر به کاهش حاصلخیزی خاک می شود. پراساد و سینها (۱۸) در پژوهشی شش ساله تخلیه فسفر قابل جذب به میزان ۴۴ درصد در اثر عدم کاربرد کودهای شیمیایی و آلی را گزارش کردند.

استفاده از کود سوپرفسفات تریپل بر اساس آزمون خاک سبب تجمع فسفر در خاک نشد و مقدار این عنصر در خاک بعد از شش کشت متوالی کمتر از حد بحرانی بود؛ بنابراین برای بهبود وضعیت خاک از لحاظ فسفر باید بیش از مقدار

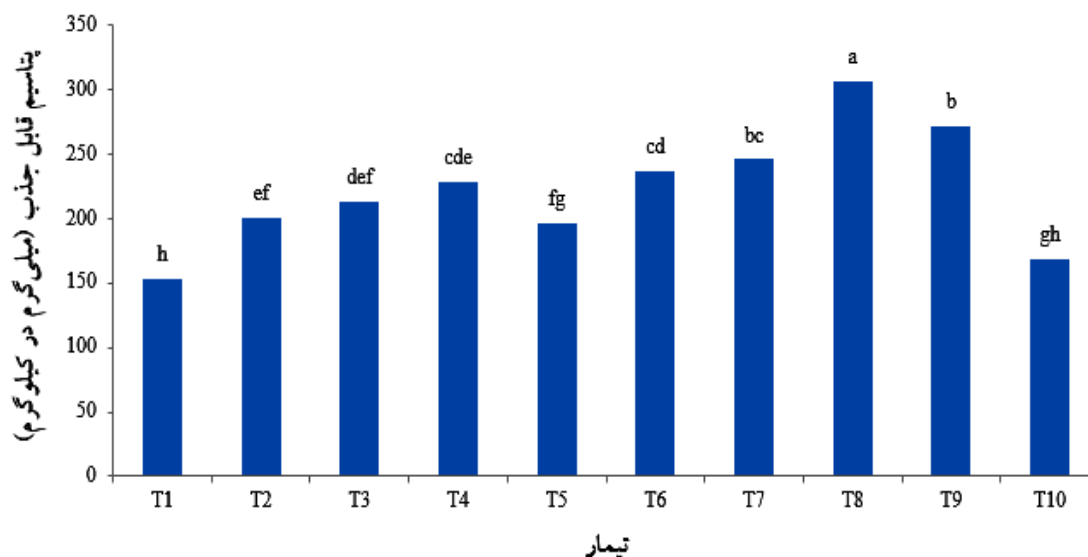


(T1 نکاشت، T2 شاهد بدون مصرف کود، T3 کودهای شیمیایی توصیه شده T4) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T5) ۲۰ تن کمپوست زباله شهری هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T6) سالانه ۲۰ تن کود گاوی + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T7) سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T8) سالانه ۲۰ تن کود گاوی (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T9) سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T10) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + کودهای شیمیایی توصیه شده.

شکل ۲. میانگین فسفر قابل جذب در تیمارهای آزمایش

فسفر قابل جذب خاک فراتر از حد بحرانی این عنصر شوند. میانگین مقدار پتاسیم قابل جذب خاک در تیمار عدم مصرف کودهای آلی و شیمیایی دارای پتاسیم در مقایسه با تیمار نکاشت به طور معنی دار افزایش نشان داد (شکل ۳). دلیل این امر احتمالاً تأثیر ترشحات ریشه گیاه در افزایش پتاسیم قابل جذب خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت بافری خاک در تأمین پتاسیم قابل جذب خاک بود. فلاح (۶) در بررسی قدرت ترمیم عناصر غذایی در شالیزارهای مازندران در آزمایشی هفت ساله نشان داد عدم مصرف پتاسیم کاهشی در پتاسیم قابل جذب خاک به وجود نیامد. فلاح (۷) در بررسی تغییرات مقدار پتاسیم در کشت برنج در کرت های ثابت در آزمایشی هفت ساله نشان داد که مقدار پتاسیم از شروع تا موقع برداشت حدود ۳۰ درصد کاهش یافته که این مقدار در دوره نکاشت و تا شروع کشت سال بعد به طور کامل ترمیم یافته است. مصرف کود بر اساس آزمون خاک سبب افزایش معنی دار پتاسیم قابل جذب خاک در مقایسه

کود دامی یا کمپوست زباله شهری، قبل از هر کشت میزان فسفر قابل جذب خاک را در حد مصرف این عنصر بر اساس آزمون خاک افزایش داد. احتمالاً تثبیت بیشتر فسفر در تیمارهای مصرف سالانه کودهای آلی دلیل این موضوع بود. بهترین سناریو مدیریت حاصلخیزی خاک در بین تیمارهای مورد بررسی از نظر میزان فسفر قابل جذب خاک از ۱۰ تن کود گاوی قبل از هر کشت بود که میانگین فسفر قابل جذب آن در شش کشت متوالی به طور معنی دار بیشتر از بقیه تیمارها بود (شکل ۲). افزایش غلظت فسفر قابل جذب خاک در اثر استفاده از کودهای آلی توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۳، ۹، ۱۴ و ۳۱). سینگ و همکاران (۲۸) گزارش کردند میزان فسفر قابل جذب خاک به طور معنی داری با کاربرد کود دامی به تنهایی یا همراه با کود شیمیایی افزایش یافت. به نظر می آید با توجه به ظرفیت تثبیت فسفر در خاک محل آزمایش هیچ کدام از سناریوهای مورد بررسی نتوانستند سبب افزایش میانگین مقدار



T1 (نکاشت، T2 شاهد بدون مصرف کود، T3 کودهای شیمیایی توصیه شده T4) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T5) ۲۰ تن کمپوست زیاله شهری هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T6) سالانه ۲۰ تن کود گاوی + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T7) سالانه ۲۰ تن کمپوست زیاله شهری + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T8) سالانه ۲۰ تن کود گاوی (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T9) سالانه ۲۰ تن کمپوست زیاله شهری (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن در کشت دوم)، T10) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + کودهای شیمیایی توصیه شده.

شکل ۳. میانگین پتاسیم قابل جذب در تیمارهای آزمایش

اثر استفاده از کود باشد. نتایج نشان داد در شرایط این آزمایش می‌توان، با استفاده یک سال در میان از ۲۰ تن کود گاوی یا کمپوست زیاله شهری در هکتار، ۵۰ درصد از مصرف کود شیمیایی حاوی پتاسیم، بدون تغییر پتاسیم قابل جذب خاک کم کرد. این نتایج همچنین نشان داد در صورت استفاده از ۱۰ تن کود گاوی در هکتار قبل از هر کشت نیاز به مصرف کود پتاسیم وجود نداشت (شکل ۳). افزایش میزان پتاسیم قابل جذب خاک در اثر کاربرد کود دامی به محتوای پتاسیم کود آلی، لیگاند کردن عناصر غذایی و اثر متقابل ماده آلی و رس و اسیدکربنیک تولیدشده در اثر تجزیه ماده آلی که سبب تجزیه کانی‌های اولیه و آزادسازی پتاسیم به خاک می‌شود، نسبت داده شده است (۱۹). این داده‌ها نشان داد بین سناریوهای مدیریت حاصلخیزی خاک، استفاده از ۱۰ تن کود گاوی و کمپوست زیاله شهری قبل از هر کشت به ترتیب سبب بیشترین میزان تجمع پتاسیم در خاک شد. با توجه به نتایج، استفاده از کودهای شیمیایی و آلی نقش

با تیمار عدم مصرف کودهای آلی و شیمیایی حاوی پتاسیم نشد. دلیل این امر احتمالاً ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت تثبیت پتاسیم خاک و تعادل بین شکل قابل جذب و شکل‌های غیرقابل جذب پتاسیم خاک بود که با افزودن کود پتاسیم به خاک تعادل در جهت کاهش شکل پتاسیم قابل جذب جابه‌جا شد. آزمایشی با هفت تیمار پتاسیم (صفر تا ۹۰۰ کیلوگرم K_2O در هکتار) به مدت شش سال بر روی پنبه در منطقه کردکوی نشان داد، مقادیر مختلف کود پتاسیم نتوانست تغییر معنی‌داری در پتاسیم قابل جذب خاک ایجاد کند (۲۲). استفاده از کود پتاسیم بر اساس آزمون خاک سبب افزایش میزان پتاسیم قابل استفاده خاک نشد. دلیل این امر احتمالاً تثبیت پتاسیم در خاک با توجه به ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت بافری خاک و تثبیت پتاسیم در کانی‌های خاک در اثر خشک‌شدن و مرطوب‌شدن متناوب باشد. عدم مصرف کود پتاسیم طی کشت‌های متناوب می‌تواند دلیل دیگر عدم افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک در

مهمی در پایداری حاصلخیزی خاک از نظر این سه عنصر غذایی دارد و در صورت عدم استفاده تخلیه خاک از این عناصر به‌ویژه در مورد فسفر و نیتروژن به‌سرعت اتفاق می‌افتد. نقش کودهای آلی در تأمین شکل قابل استفاده عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک کاملاً مشخص بود. با استفاده یک سال در میان از ۲۰ تن کود دامی یا کمپوست زباله شهری در هکتار می‌توان ۲۵ درصد از مصرف کودهای دارای نیتروژن و ۵۰ درصد از مصرف کودهای حاوی فسفر و پتاسیم خاک کم کرد. ادامه اجرای آزمایش در بازه زمانی طولانی‌تر با توجه به تغییر کند ویژگی‌های حاصلخیزی خاک در خاک‌هایی با میزان کربنات کلسیم، بافت و میزان ماده آلی متفاوت به‌منظور رسیدن به نتایج مطمئن‌تر پیشنهاد می‌شود.

References

منابع مورد استفاده

- Ahmad, M., M. Ishaq, W. A., Shah, M. Adnan, S. Fahad, M. H. Saleem and M. Hashem .2022. Managing phosphorus availability from organic and inorganic sources for optimum wheat production in calcareous soils. *Sustainability* 14(13): 7669 7683.
- Ahmed, W., H Jing, L. Kaillou, M. Qaswar, M. N. Khan, C. Jin and H. Zhang. 2019. Changes in phosphorus fractions associated with soil chemical properties under long-term organic and inorganic fertilization in paddy soils of southern China. *PLoS one* 14(5): e0216881.
- Alamgir, M. and P. Marschner. 2016. Changes in P pools over three months in two soils amended with legume residues. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 16(1): 76-87.
- Ali Ehyaei, M. and A. A. Behbahani zadeh.1993. Description of soil chemical analysis methods. *Soil and Water Research Institute* 893(1): 129-129 (In farsi).
- Cabilovski, R., M. Manojlovic, B. Bogdanovic, N. Magazin, Z. Keserovic and B. K. Sitaula. 2014. Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) production: impact on soil fertility and yield. *Zemdirbyste-Agriculture* 101(1): 67-74.
- Fallah, V. M. 1995. Final report of the research project "Investigating the power of restoring nutrients in Mazandaran rice fields" Rice Research Institute of Iran (In Farsi).
- Fallah, V. M. 1996. Investigation of the capacity of restoring essential nutrients in paddy fields and the sustainability of rice production in Mazandaran. Fifth Congress of Soil Sciences, Karaj, Iran (In Farsi).
- Ghaderi1, J., M. M. Tehrani, F. Hamadi and K. ' Heydari. 2020. *Journal of Soil Research* 34(1): 47-60 (In Farsi).
- Jin, Y., X. Liang, M. He, Y. Liu, G. Tian and J. Shi. 2016. Manure biochar influence upon soil properties, phosphorus distribution and phosphatase activities: a microcosm incubation study. *Chemosphere* 142 128-135.
- Li, J., G. Gan, X. Chen and J. Zou. 2021. Effects of long-term straw management and potassium fertilization on crop yield, soil properties, and microbial community in a rice-oilseed rape rotation. *Agriculture* 11(12): 1233.
- Liang, Q., H. Chen, Y. Gong, H. Yang, M. Fan and Y. Kuzyakov. 2014. Effects of 15 years of manure and mineral fertilizers on enzyme activities in particle-size fractions in a North China Plain soil. *European Journal of Soil Biology* 60: 112-119.
- Linguist, B. A., V. Phengsouvanna and P. Sengxue. 2007. Benefits of organic residues and chemical fertilizer to productivity of rain-fed lowland rice and to soil nutrient balances. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 79(1): 59-72.
- Liu, S., J. Wang, S. Pu, E. Blagodatskaya, Y. Kuzyakov and B. S. Razavi, 2020. Impact of manure on soil biochemical properties: A global synthesis. *Science of the Total Environment* 745: 141003.
- Liu, J., C. Han, Y. Zhao, J. Yang, B. J. Cade-Menun, Y. Hu, and Y. Ma. 2020. The chemical nature of soil phosphorus in response to long-term fertilization practices: Implications for sustainable phosphorus management. *Journal of Cleaner Production* 272: 123093.
- Marjovi, A. R. and P. Mashayekhi. 2020. Chemical effect of municipal compost and sewage sludge on Soil and wheat crop. *Iran Journal of Soil Water Research* 51(9): 2349-2363 (In Farsi).
- Narwal, R. P. and R. S. Antil. 2005. Integrated nutrient management in pearl millet-wheat cropping system. PP. 205-213. In: K. K. Kapoor, S. S. Dudeja, and B. S. Kundu (Eds.), Management of organic wastes for crop production, CCS Haryana Agricultural University, Hisar.
- Nicolás, C., T. Hernández, and C. García . 2012. Organic amendments as strategy to increase organic matter in particle-size fractions of a semi-arid soil. *Applied Soil Ecology* 57: 50-58.
- Prasad, B., and S. K. Sinha. 1995. Nutrient recycling through crop residues management for sustainable rice and wheat production in calcareous soil. *Fertiliser News* 40(11):15-23.
- Rajneesh, R., R. P. Sharma, N. K. Sankhyan and R. K. Rameshwar Kumar. 2017. Long-term effect of fertilizers and

- amendments on depth-wise distribution of available NPK, micronutrient cations, productivity, and NPK uptake by maize-wheat system in an acid alfisol of NorthWestern Himalayas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48(18): 2193-2209.
20. Roozitalab, M. H., H. Siadat and A. Farshad (Eds.). 2018. *The soils of Iran* (p. 255). Springer international publishing, Switzerland.
 21. Ros, M., J. A. Pascual, C. Garcia, M. T. Hernandez and H. Insam. 2006. Hydrolase activities, microbial biomass and bacterial community in a soil after long-term amendment with different composts. *Soil Biology and Biochemistry* 38(12): 3443-3452.
 22. Salahi Farahi, M. 2005. Final report of the research project "Investigating the process of potassium enrichment of soils in the Kordkoy region and its effect on cotton in permanent plots". Soil and Water Research Institute (In Farsi).
 23. Sarma, B., B. Borkotoki, R. Narzari, R. Kataki, R. and N. Gogoi. 2017. Organic amendments: Effect on carbon mineralization and crop productivity in acidic soil. *Journal of Cleaner Production* 152: 157-166.
 24. Seilsepour, M. 2021. Field evaluation of municipal waste and nitrogen fertilizer application on forage maize yield and Some physical and chemical properties of soil. *Journal of Crop Improvement* 23(3): 271-284.
 25. Selim, M. M. 2020. Introduction to the integrated nutrient management strategies and their contribution to yield and soil properties. *International Journal of Agronomy* 2020(1): 2821678
 26. Shahid, M., A. K. Nayak, and A. K. Shukla. 2013. Long-term effects of fertilizer and manure applications on soil quality and yields in a sub-humid tropical rice-rice system. *Soil Use and Management* 29(3): 322-332.
 27. Singh, C., P. Pathak, N. Chaudhary, A. Rath, P., Dehariya, and D. Vyas. 2020. Mushrooms and mushroom composts in integrated farm management. *Research Journal of Agriculture Science* 11: 1436-1443.
 28. Singh, G., O. P. Singh, R. G. Singh, R. K. Mehta, V. Kumar, and R. P. Singh. 2006. Effect of integrated nutrient management on yield and nutrient uptake of rice (*Oryza sativa*) – wheat (*Triticum aestivum* L.) in lowland of eastern Uttar Pradesh. *Indian Journal of Agronomy* 51: 85-89.
 29. Walia, M. K., S. S. Walia, and S. S. Dhaliwal. 2010. Long-term effect of integrated nutrient management on properties of Typic Ustochrept after 23 cycles of an irrigated rice (*Oryza sativa* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) system. *Journal of Sustainable Agriculture* 34 (7): 724-43.
 30. Yahaya, S. M., A. A. Mahmud, M. Abdullahi, and A. Haruna. 2023. Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: a review. *Pedosphere* 33(3): 385-406.
 31. Yu, W., X. Ding, S. Xue, S., Li, X., Liao and R. Wang. 2013. Effects of organic-matter application on phosphorus adsorption of three soil parent materials. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13(4): 1003-1017.
 32. Zaccardelli, M., C. Pane, I. Di Mola, D. Ronga, and M. Mori. 2021. Municipal organic waste compost replaces mineral fertilization in the horticultural cropping systems, reducing the pollution risk. *Italian Journal of Agronomy* 16(2):1756-1769.
 33. Zhang, S., Z. Li and X. Yang. 2015. Effects of long-term inorganic and organic fertilization on soil micronutrient status. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 46(14): 1778-1790.