*Journal of Soil Management and Sustainable*

**Print ISSN: 2322-1267**
**Online ISSN: 2322-1275**

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

# The effect of chemical, organic, biological and integrated fertilizer systems on soil fertility and nutritional status of rapeseed (*Brassica napus* L.)

**Gholam Reza Adim[1] | Elham Malekzadeh[*2] | Esmaeil Dordipour[3] | Farshad Kiani[4] | Hassan Mokhtarpour[5] | Serajoddin Moazzemi[6]**

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. E-mail: gholamreza.adim96@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. E-mail: malekzadeh.elham@gmail.com
3. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. E-mail: dordipour@gmail.com
4. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. E-mail: kianifarshad@gmail.com
5. Research Assistant Prof., Dept. of Crop and Horticultural Research, Golestan Agricultural and Natural Resources Reseach Center, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran. E-mail: mokhtarpour2007@yahoo.com
6. Ph.D. of Agronomy, Agricultural Jihad Organization of Gorgan. E-mail: seraj.moazzemi@gmail.com

**Article Info**

**Article type:**
Full Length Research Paper

**Article history:**
Received: 10.13.2021
Revised: 12.19.2021
Accepted: 12.21.2021

**Keywords**:
Integrated fertilization,
Nutrient availability,
Rapeseed,
Soil properties

**ABSTRACT**

**Background and Objectives:** Overusing chemical fertilizers not only is associated with negative impacts on the environment and human health, but also reduces crop yield and quality. Therefore, the combined use of organic fertilizers with chemicals has been considered as a method of integrated plant nutrition management. The objective of this study was to investigate the effect of separate and combined application of different organic, biological and chemical fertilizers on the concentration of nutrients in the seeds and leaf of transplanted rapeseed (*Brassica napus* L.) and soil under cultivation.

**Materials and Methods:** An experiment in a randomized complete block design with eleven treatments and three replications in the field in period of 2019-2020 on the lands of the Iraqi Agricultural Research Station (IARS) in Gorgan (Gorgan, northern Iran) was performed. Treatments included: 1) Control (T1), 2) NPK chemical fertilizer (T2), 3) NPK+Fe+Zn chemical fertilizers (T3), 4) poultry manure (T4), 5) Compost (T5), 6) Biofertilizer + Fe and Zn chemical fertilizers (T6), 7) NPK chemical fertilizer+ humic acid (T7), 8) 50% poultry manure + 50% Compost + 50% NPK+ Fe and Zn chemical fertilizers (T8), 9) 25% poultry manure + 25% Compost + 100% NPK + Fe and Zn chemical fertilizers (T9), 10) 50% poultry manure + 50% Compost + 50% NPK + Fe and Zn chemical fertilizers + Biofertilizer (T10) and 11) direct sowing of seeds + NPK chemical fertilizer (T11). At the end of the cultivation period, macroelements (N, P, K) and microelements (Fe and Zn) in plants and soil were measured.

**Results:** The results showed that the application of biofertilizer + Zn + Fe (T6) increased the production of N and soil phosphorus, and decreased pH and EC and the combined application of organic and biofertilizers with chemical fertilizers (T8, T9 and T10) increased the availability of K, Fe and Zn in soil. Also, application of biofertilizer + Fe + Zn (T6) caused a significant increase ($P<0.05$) in N, P, K and Zn on the leaf and also the content of N, P and K of seed compared to other treatments and control by

the lowest amount of these elements. Concentrations of Fe in rapeseed leaf and seeds increased significantly ($P<0.05$) compared to the control treatment with the combined use of organic and biological and chemical fertilizers (T8, T9 and T10).

**Conclusion:** T6, T8, T9 and T10 treatments were the most effective treatments in increasing nutrient production and nutritional needs of rapeseed. Therefore, the combined application of chemical fertilizers with organic and biofertilizers probably due to the improvement of physical conditions, biodiversity and availability of plant nutrients, caused soil fertility, environmental health and rapeseed nutritional needs.

Cite this article: Adim, Gholam Reza, Malekzadeh, Elham, Dordipour, Esmaeil, Kiani, Farshad, Mokhtarpour, Hassan, Moazzemi, Serajoddin. 2022. The effect of chemical, organic, biological and integrated fertilizer systems on soil fertility and nutritional status of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Soil Management and Sustainable*, 11 (4), 99-119.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejsms.2022.19588.2042
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار

شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲

شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲

# تأثیر سیستم‌های کودی شیمیایی، آلی، زیستی و تلفیقی بر حاصلخیزی خاک و وضعیت تغذیه‌ای کلزا (*Brassica napus* L.) نشائی

غلامرضا ادیم[۱] | الهام ملک‌زاده*[۲] | اسماعیل دردی‌پور[۳] | فرشاد کیانی[٤] | حسن مختارپور[٥] | سراج‌الدین معظمی[٦]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. رایانامه: gholamreza.adim96@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. رایانامه: malekzadeh.elham@gmail.com

۳. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. رایانامه: dordipour@gmail.com

٤. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. رایانامه: kianifarshad@gmail.com

۵. استادیار پژوهشی بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mokhtarpour2007@yahoo.com

٦. دکتری زراعت، سازمان جهاد کشاورزی گرگان. رایانامه: seraj.moazzemi@gmail.com

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله کامل علمی- پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱٤۰۰/۰۷/۲۱
**تاریخ ویرایش:** ۱٤۰۰/۰۹/۲۸
**تاریخ پذیرش:** ۱٤۰۰/۰۹/۳۰

**واژه‌های کلیدی:**
فرآهمی عناصر غذایی،
کلزا،
کوددهی تلفیقی،
ویژگی‌های خاک

**چکیده**

**سابقه و هدف:** افزایش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی علاوه بر اثر منفی بر محیط‌زیست و سلامت بشر، با کاهش بازده زمین‌های کشاورزی و کیفیت محصولات زراعی همراه بوده است. بنابراین، استفاده ترکیبی از کودهای آلی همراه با کودهای شیمیایی به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان روش مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهان مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد جداگانه و تلفیقی کودهای آلی مختلف، کود زیستی و شیمیایی بر غلظت عناصر غذایی در دانه و برگ کلزا (*Brassica napus* L.) نشائی و حاصلخیزی خاک تحت کشت آن انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** آزمایشی مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با یازده تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در ایستگاه عراقی محله شهر گرگان (گرگان، ایران) انجام شد. تیمارها شامل: ۱) شاهد (بدون کود T1)، ۲) کود شیمیایی NPK (T2)، ۳) کود شیمیایی NPK + سولفات آهن و روی (T3)، ٤) کود پلت مرغی (T4)، ۵) کود کمپوست (T5)، ٦) کود زیستی + سولفات آهن و روی (T6)، ۷) کود شیمیایی NPK + اسید هیومیک (T7)، ۸) کود مرغی ۵۰٪ + کمپوست ۵۰٪ + کود شیمیایی NPK ۵۰٪ + سولفات آهن و روی (T8)، ۹) کود مرغی ۲۵٪ + کمپوست ۲۵٪ + کود شیمیایی NPK ۱۰۰٪ + سولفات آهن و روی (T9)، ۱۰) کود مرغی ۵۰٪ + کمپوست ۵۰٪ + کود شیمیایی NPK ۵۰٪ + سولفات آهن و روی + کود زیستی (T10) و ۱۱) کشت مستقیم بذری + کود شیمیایی NPK (T11) بودند. در پایان دوره کشت، عناصر پرمصرف (نیتروژن، پتاسیم، فسفر) و کم‌مصرف (آهن و روی) در گیاه و خاک اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد کاربرد کود زیستی + سولفات آهن و روی (T6) سبب افزایش فرآهمی نیتروژن و فسفر خاک و کاهش pH و EC و کاربرد تلفیقی کودهای آلی و زیستی با کود شیمیایی (T8، T9 و T10) باعث افزایش فراهمی پتاسیم، آهن و روی قابل‌جذب خاک شدند. هم‌چنین مصرف کود زیستی +سولفات آهن و روی (T6) سبب افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی برگ و نیز محتوای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه نسبت به سایر تیمارها و شاهد با کم‌ترین مقدار این عناصر گردید. غلظت آهن در برگ و دانه کلزا با مصرف تلفیقی کودهای آلی و زیستی به همراه کود شیمیایی (T8، T9 و T10) افزایش قابل‌توجهی (P<۰/۰۵) نسبت به تیمار شاهد داشت.

**نتیجه‌گیری:** تیمارهای T6، T8، T9 و T10 مؤثرترین تیمارها در افزایش فرآهمی عناصر غذایی و نیازهای تغذیه‌ای گیاه کلزا بودند. بنابراین، کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی با کودهای آلی و زیستی احتمالاً به‌دلیل بهبود شرایط فیزیکی، تنوع زیستی و فراهمی عناصر غذایی قابل‌جذب گیاه، باعث پایداری حاصلخیزی خاک، سلامت محیط زیست و تامین نیازهای تغذیه‌ای کلزا شد.

**استناد**: ادیم، غلامرضا، ملک‌زاده، الهام، دردی‌پور، اسماعیل، کیانی، فرشاد، مختارپور، حسن، معظمی، سراج‌الدین (۱۴۰۰). تأثیر سیستم‌های کودی شیمیایی، آلی، زیستی و تلفیقی بر حاصلخیزی خاک و وضعیت تغذیه‌ای کلزا (*Brassica napus* L.) نشائی. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۱ (۴)، ۱۱۹-۹۹.

DOI: 10.22069/ejsms.2022.19588.2042

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

## مقدمه

بزرگ‌ترین چالش پیش روی دولت‌ها، صنایع و سازمان‌های مرتبط با کشاورزی در دهه‌های آینده، تامین تقاضای روزافزون جهان برای غذا به روش پایدار خواهد بود. توسعه پایدار در بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین جوانب توسعه ملی هر کشور است (۲۱، ٦۱). برای دستیابی به این امر، دو گزینه پیش‌رو، کشت بیش‌تر زمین‌های کشاورزی و افزایش تولید در واحد سطح با اتخاذ روش کشت فشرده است. از سوی دیگر، به دلیل افزایش پیوسته تقاضا برای زمین در سایر کاربری‌ها مانند احداث سازه‌های تجاری و مسکونی، دامنه افزایش سطح زیر کشت محدود شده است (۳۸). بنابراین روند رو به رشد جمعیت در سراسر جهان، کاهش عملکرد مزارع کشاورزی و کیفیت محصولات زراعی به علت کشت‌های پی‌درپی موجب کمبود محصولات زراعی و به دنبال آن مواد غذایی گردیده است (٦۲). بر این اساس، باید توجه بیش‌تری به افزایش تولید در واحد سطح زمین‌های زیر کشت با به‌کارگیری روش‌های مصرف جامع و بهینه نهاده‌های کشاورزی (٥٦) با رعایت جنبه‌های زیست‌محیطی (۳۷) معطوف شود.

خاک منبع اکثر مواد مغذی گیاهی است که برای رشد و نمو گیاه ضروری است و نحوه مدیریت مواد مغذی تأثیر زیادی بر رشد گیاه، باروری خاک و پایداری کشاورزی خواهد داشت (۳۲). کمبود عناصر غذایی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاه محسوب می‌شود (٦۰، ٦٦). در این میان، استفاده صحیح از کودهای شیمیایی بسیار دارای اهمیت است (٦۸). کودهای شیمیایی یکی از مهم‌ترین نهاده‌های کشاورزی پیشرفته است و اعمال آن در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به‌عنوان سریع‌ترین رویکرد رفع نیازهای تغذیه‌ای گیاه در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه بسیار متداول و موفقیت‌آمیز بوده است (٤، ٥۷). اما افزایش روش‌های غیراصولی و غیراستاندارد حاصلخیزی خاک و مدیریت نادرست آن موجب تشدید مشکلات مربوط به کشت محصولات کشاورزی، ایجاد آلودگی و تخریب محیط‌زیست و خاک شده است (۳٤). مصرف بهینه کودها آسان‌ترین، سریع‌ترین و کارآمدترین روش دستیابی به افزایش عملکرد در واحد سطح و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی است (٥۸) و بدون اطمینان از تأمین تغذیه مناسب و متعادل گیاهان امکان دستیابی به عملکرد زیاد وجود ندارد. در سال‌های اخیر، جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای آلی و زیستی در کشاورزی ترجیح داده می‌شوند (۱۹، ۷۱). زیرا گرچه کودهای شیمیایی نهاده‌های مهمی برای بهره‌وری بیش‌تر محصول هستند، اما وابستگی بیش از حد به مصرف کودهای شیمیایی با کاهش کیفی برخی از خواص خاک و عملکرد محصول در طی زمان همراه است. امروزه توسعه سریع اقتصادی باعث شده کشاورزان از کودهای شیمیایی به‌دلیل کاربرد آسان و پاسخ سریع گیاهان استفاده کنند، اما کاربرد فشرده آن‌ها منجربه تخریب و از بین رفتن سلامت خاک، شستشوی عناصر غذایی و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و مخاطرات زیست‌محیطی برای سلامت انسان و سایر جانداران شده است. بنابراین ارائه راه‌کار در راستای استفاده متعادل از کودهای آلی و شیمیایی ضروری است به‌گونه‌ای که ضمن تولید محصول پایدار، سلامت، حاصلخیزی و باروری خاک حفظ گردد. استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی به‌همراه کودهای آلی رویکرد پایدار برای استفاده کارآمد از عناصر غذایی است که باعث افزایش کارآیی کودهای شیمیایی، بهبود خواص فیزیکی خاک و کاهش تلفات مواد مغذی می‌گردد (٤۰). با وجود مطالعات درباره مواد آلی و نقش آن در باروری خاک و کشاورزی پایدار،

امروزه مناطق خشک و نیمه خشک جهان با مشکل کمبود مواد آلی مواجه هستند. آنچه ضروری به نظر می‌رسد، ارائه روش‌های کاربردی برای افزایش عملکرد مزارع است که یکی از ضروریات آن افزایش مواد آلی خاک می‌باشد (۵، ۱٦، ۱۹). گرچه عناصر غذایی تامین‌شده توسط کودهای شیمیایی برای تولید محصول ضروری است، اما ریزجانداران مفید نیز به‌طور مستقیم (تثبیت زیستی نیتروژن، حلالیت فسفر، تولید هورمون‌های گیاهی و ...) یا غیرمستقیم (تولید زیستی ترکیبات ضدپاتوژنی، القاء مقاومت سیستماتیک و ...) در بهبود تولید و کارآیی کودها نقش دارند (۷).

کلزا یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی جهان محسوب می‌شود که در طرح‌های افزایش تولید دانه‌های روغنی همواره مورد توجه بوده است (۲۰). رشد، عملکرد و کیفیت کلزا وابسته به عوامل مدیریتی مانند تغذیه گیاهی و آبیاری است (۷۲). یکی از روش‌های مفید در افزایش عملکرد گیاهان کلزا تعیین نیاز تغذیه‌ای متناسب با نیاز فیزیولوژیکی آن است (٤۲). در گیاهان دانه‌ای، با توجه به اینکه نیتروژن، فسفر و پتاسیم جزء عناصر اصلی ساختاری هستند، مقدار قابل‌توجهی از آن‌ها همراه دانه از زمین‌های کشاورزی خارج می‌شود (۵۰). کلزا نسبت به کمبود آهن حساس است و به عنوان یک عنصر کم‌مصرف هم در تغذیه کلزا محسوب می‌شود (۸). نقش عنصر روی در تغذیه گیاه کلزا بسیار مهم بوده و کمبود آن سبب تاخیر در باز شدن به موقع برگ‌ها و گل‌ها و در نهایت محدودیت در رشد گیاه ایجاد می‌شود. این عنصر به طرز قابل‌توجهی بر عملکرد دانه، کیفیت و جذب مواد مغذی کلزا تأثیر مستقیم دارد (۱٤). محمود و همکاران (۲۰۱۷) در مصرف تلفیقی کودهای آلی (گوسفندی، مرغی، کمپوست) با کودهای شیمیایی NPK گزارش کردند که مصرف تلفیقی آن‌ها در خاک‌های حاوی مواد آلی کم علاوه بر بهبود ویژگی‌های خاک باعث افزایش تولید محصول گردید (٤۰). امام و عثمان (۲۰۲۰) اثر افزودن کاه برنج به‌تنهایی و در ترکیب با کمپوست، کود شیمیایی و کود زیستی بر عملکرد و محتوای عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف گیاه ذرت بررسی کردند. مصرف تلفیقی کود شیمیایی با کمپوست و پس از آن، مصرف کمپوست + کود زیستی + ۵۰٪ کود شیمیایی بیش‌ترین مقدار جذب عناصر N، p و K را در دانه ذرت به‌همراه داشت (۱۷). پارمش و همکاران (۲۰۲۰) اثر پنج سطح فسفر شامل ۱) ۱۰۰٪ کود شیمیایی فسفر، ۲) ۱۰۰٪ کمپوست غنی‌شده با فسفر، ۳) ۵۰٪ کود شیمیایی فسفر + ۵۰٪ کمپوست غنی‌شده با فسفر، ٤) ۷۵٪ کمپوست غنی‌شده با فسفر + قارچی‌های آربسکولار مایکوریزا + باکتری‌های حل‌کننده فسفر، ۵) شاهد؛ و چهار سطح روی شامل ۱) ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، ۲) محلول‌پاشی سولفات روی ۰/۵٪ (ظهور سنبله و یک هفته بعد)، ۳) ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی + محلول‌پاشی سولفات روی ۰/۵٪ (یک هفته بعد از ظهور سنبله) بر عملکرد و جذب عناصرغذایی گندم بررسی کردند. به‌طورکلی تیمار تلفیقی ۵۰٪ کمپوست غنی‌شده + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفری + ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی + محلول‌پاشی محلول ۰/۵ روی، در کاهش اثرات آنتاگونیستی فسفر و روی و افزایش غلظت آهن و روی دانه مؤثرتر بود (٤۹). السهیبانی و همکاران (۲۰۲۱) اثر تیمارهای مختلف کودی شامل ۱) کود شیمیایی NPK، ۲) کمپوست ۵ تن در هکتار، ۳) کود مرغی ۵ تن در هکتار، ٤) مخلوط کود گوسفند و شتر (دامی) ۵ تن در هکتار، ۵) ۵۰٪ کود NPK + ۵ تن در هکتار از مخلوط کودهای آلی (کمپوست، مرغی و دامی)، ٦) ۵۰٪ کود NPK +

۱۰ تن در هکتار از مخلوط کودهای آلی، ۷) ۱۰ تن در هکتار مخلوط کودهای آلی، ۸) ۱۵ تن در هکتار مخلوط کودهای آلی و ۹) ۲۰ تن در هکتار مخلوط کودهای آلی را بر غلظت عناصر NPK در خاک، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت بررسی کردند. بیش‌ترین مقدار عناصر در تیمار مصرف ۵۰٪ کود NPK + ۱۰ تن در هکتار از مخلوط کودهای آلی حاصل شد (۳).

با توجه به این‌که پژوهش‌هایی درباره تأثیر کاربرد سیستم‌های کوددهی تلفیقی بر تغذیه گیاه کلزا نشایی صورت نگرفته است. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی با کودهای آلی و زیستی در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی، تامین سلامت و حاصلخیزی خاک و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه کلزای نشایی در شرایط مزرعه‌ای انجام شد.

## مواد و روش‌ها

**مشخصات محل آزمایش‌ها:** آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک کامل تصادفی از مهرماه ۱۳۹۸ تا اردیبهشت ۱۳۹۹ در اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی عراقی محله شهر گرگان (گرگان، شمال ایران) انجام شد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی عراقی محله در ٦ کیلومتری شمال شهر گرگان با عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ٥٤ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۲۵ درجه شرقی و ارتفاع ۵ متر بالاتر از سطح دریا واقع شده است. آب و هوای شهر گرگان گرم و مرطوب است. میانگین بارندگی سالانه ٤٥٠–٥٠٠ میلی‌متر، میانگین رطوبت نسبی سالانه ۷۱ درصد و میانگین سالیانه دمای هوا ١٤ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. قبل از آزمایش، از خاک مزرعه تحقیقاتی در عمق ۳۰–۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شد تا ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مشخص شود (جدول ۱).

**جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه.**

**Table 1. Some physico-chemical properties of soil in the studied region.**

| بافت | سیلت | رس | شن | آهک | کربن آلی | روی قابل جذب | آهن قابل جذب | پتاسیم قابل جذب | فسفر قابل جذب | نیتروژن کل | قابلیت هدایت الکتریکی | واکنش خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Soil texture | Silt | Clay | Sand | CCE | OC | Zn | Fe | K | P | N | EC | pH |
| | | | ٪ | | | mg/kg | | | | ٪ | $dS\ m^{-1}$ | - |
| سیلتی‌لوم | 51.1 | 24.8 | 24.1 | 20.3 | 1.3 | 0.41 | 7.3 | 310 | 9.9 | 0.12 | 1.48 | 7.9 |

**طراحی آزمایش مزرعه‌ای:** برای بررسی اثرات کاربرد کودهای آلی مختلف، کود زیستی، کودهای شیمیایی و کاربرد تلفیقی آن‌ها بر تغذیه گیاه کلزا نشایی رقم هایولا ۵۰، آزمایشی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۱۱ تیمار و سه تکرار و در مجموع ۳۳ نمونه انجام شد. کرت‌های آزمایشی متشکل از ٤ ردیف ٤ متری، با فاصله ٦۰ سانتی‌متری بین ردیف‌ها و فاصله ۲۵ سانتی‌متری بین بوته‌ها بود. فاصله بین کرت ها ٦۰ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها (بلوک) ۲ متر در نظر گرفته شد. نشاءهای کلزا در سینی‌هایی که شامل ۱ واحد خاک زراعی + ۱ واحد کود دامی پوسیده + ۲ واحد ماده گیاهی پوسیده بود، آماده

شدند. ۱۰ روز بعد از کاشت هر روز یک بار در یکی از دفعات آبیاری از محلول ۲ در هزار کود اوره و یک بار هم از محلول ۲ در هزار کودهای کامل برای تغذیه بهتر نشاء استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱) شاهد (بدون کود، T1)، ۲) کود شیمیایی NPK (T2)، ۳) کود شیمیایی NPK + سولفات آهن و روی (T3)، ٤) کود پلت مرغی (T4)، ٥) کود کمپوست (T5)، ٦) کود زیستی + سولفات آهن و روی (T6)، ۷) کود شیمیایی NPK + اسید هیومیک (T7)، ۸) کود مرغی ۵۰٪ + کمپوست ۵۰٪ + کود شیمیایی NPK ۵۰٪ + سولفات آهن و روی (T8)، ۹) کود مرغی ۲۵٪ + کمپوست ۲۵٪ + کود شیمیایی NPK ۱۰۰٪ + سولفات آهن و روی (T9)، ۱۰) کود مرغی ۵۰٪ + کمپوست ۵۰٪ + کود شیمیایی NPK ۵۰٪ + سولفات آهن و روی + کود زیستی (T10) و ۱۱) کشت مستقیم بذری + کود شیمیایی NPK (T11) بود. ویژگی‌های کودهای مرغی و کمپوست مصرفی در جدول ۲ ذکر شده است. کودهای آلی بر اساس محتوای نیتروژن کل و معادل نیتروژن خالص توصیه شده بر اساس آزمون خاک برای کود شیمیایی و با اعمال ضریب ۵۰ درصد قابلیت دسترسی برای گیاه محاسبه شد.

کود NPK بر اساس آزمون خاک؛ نیتروژن معادل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در سه مرحله به هنگام کشت، ساقه‌روی، قبل از گل‌دهی؛ فسفر معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات ترپیل؛ پتاسیم معادل ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، کود آهن و روی بر اساس آزمون خاک؛ آهن معادل ۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آهن و روی معادل ۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، کود پلت مرغی براساس معادل توصیه کود نیتروژن خالص در آزمون خاک با فرض ۵۰ درصد معدنی‌شدن در خاک (۱۱۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار معادل ۱٦/۵ تن کود مرغی در هکتار)، کود کمپوست بر اساس معادل توصیه کود نیتروژن خالص در آزمون خاک با فرض ۵۰ درصد معدنی‌شدن در خاک (۱۱۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص معادل ۱۹/۵ تن کود کمپوست در هکتار)، کود زیستی بایوفارم ۱ حاوی باکتری‌های آزوسپریلیوم، ازتوباکتر، گونه‌های مختلف سودوموناس با تراکم حداقل ($۲\times۱۰^{۷}$ CFU /ml) براساس توصیه شرکت سازنده (۱ لیتر در بذر مصرفی یک هکتار) به صورت بذرمال و محلول‌دهی پای بوته در دو مرحله ٤ تا ۸ برگی و ساقه‌روی و اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی و محلول‌دهی پای بوته (۵ در هزار) در دو مرحله ٤ برگی و ساقه‌روی اعمال شد. عملیات کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و در یک نوبت انجام شد. آبیاری بر اساس نیاز گیاه و در مراحل مهم فنولوژیکی انجام شد.

**جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی کود مرغی و کمپوست مورد استفاده.**

**Table 2. Some chemical properties of poultry manure and compost used in the experiment.**

| | منگنز کل | مس کل | روی کل | آهن کل | پتاسیم کل | فسفر کل | نیتروژن کل | کربن آلی | قابلیت هدایت الکتریکی | پ‌هاش |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Total Mn | Total Cu | Total Zn | Total Fe | Total K | Total P | Total N | OC | EC (1:10) | pH (1:10) |
| | mg/kg | | | | | ٪ | | | $dS\ m^{-1}$ | - |
| کود مرغی Poultry manure | 291 | 62 | 175۱ | 5170 | 1.3 | 1.3 | 1.4 | 19.12 | 7.7 | 8.4 |
| کمپوست Compost | 111 | 23.4 | 63.3 | 1205 | 0.71 | 0.42 | 1.2 | 18.6 | 3.93 | 7.2 |

**اندازه‌گیری pH، EC و غلظت عناصر در خاک:** مقدار pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع به‌ترتیب با استفاده از pH متر و دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی دیجیتال در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد (۲۵). نیتروژن خاک با روش کجلدال اندازه‌گیری شد (٤٦). فسفر قابل‌جذب در خاک توسط عصاره‌گیری خاک با بی‌کربنات‌سدیم ۰/۵ نرمال و به روش رنگ آبی در طول موج ٦٦٠ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Unico 2800 UV/VIS) تعیین شد (٤٨). پتاسیم قابل‌جذب خاک با استات‌آمونیوم یک نرمال (pH=۷) عصاره‌گیری و با دستگاه فلیم‌فتومتری (مدل Jeneway) قرائت شد (۳۱). برای عصاره‌گیری عناصر آهن و روی، از روش عصاره‌گیری با DTPA-TEA استفاده شد (۳٦). عناصر مورد نظر در عصاره‌های به‌دست آمده با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید.

**اندازه‌گیری غلظت عناصر در دانه و برگ:** نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری عناصر برگ در ابتدای گلدهی انجام شد. عصاره‌گیری از نمونه‌های گیاهی برای اندازه‌گیری عناصر فسفر، پتاسیم، آهن و روی با استفاده از روش استاندارد هضم خشک انجام شد (۲۸). غلظت نیتروژن کل به روش هضم تر و با کجلدال اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر به روش وانادات مولیبدات پس از تشکیل کمپلکس زرد با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤٧٠ نانومتر قرائت شد. غلظت پتاسیم، آهن و روی در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

**روش تجزیه و تحلیل آماری:** پژوهش حاضر در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی طرح‌ریزی شد. به‌منظور آنالیز اطلاعات به‌دست آمده ضمن رعایت پیش‌فرض‌های لازمه مانند نرمال بودن داده‌ها، از آنالیز واریانس توسط نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح ۵ درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

**اثرات سیستم‌های مختلف کودی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک:** نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد تأثیر تیمارهای کودی مختلف بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک پس از برداشت کلزا در سطح یک درصد معنی‌دار شد ($P<۰/۰۱$).

**جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر در خاک پس از برداشت.**

**Table 3. ANOVA results of the effect of different treatments on the concentration of elements in the soil after harvest.**

| منبع تغییرات SOV | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | نیتروژن N | فسفر P | پتاسیم K | آهن Fe | روی Zn | واکنش خاک pH | قابلیت هدایت الکتریکی EC |
| بلوک Block | 2 | 0.00009203$^{ns}$ | 0.1991$^{ns}$ | 1179.36$^{*}$ | 0.0839$^{**}$ | 0.0038$^{*}$ | 0.0002$^{ns}$ | 0.00089$^{ns}$ |
| تیمار Treatment | 10 | 0.00093212$^{**}$ | 2.0542$^{**}$ | 10646.67$^{**}$ | 1.97$^{**}$ | 0.0358$^{**}$ | 0.0064$^{**}$ | 0.799$^{**}$ |
| خطا Error | 20 | 0.00003603 | 0.3291 | 291.43 | 0.0116 | 0.00092 | 0.00036 | 0.00093 |
| ضریب تغییرات (٪) C.V% | - | 4.61 | 5.88 | 4.5 | 1.26 | 4.38 | 0.25 | 2.14 |

$^{ns}$، $^{*}$ و $^{**}$ به‌ترتیب یعنی غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

$^{ns}$ not significant, $^{*}$ P<0.05 and $^{**}$ P<0.01

**pH** و **قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC)**: بررسی مقایسه میانگین اثر کودهای مختلف بر مقدار pH خاک نشان داد، در استفاده از تیمار کودی T10 (۵۰ درصد کود مرغی + ۵۰ درصد کمپوست + ۵۰ درصد Zn+Fe+NPK + کود زیستی) بیش‌ترین میزان pH خاک (۷/۷۵) حاصل شد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارها بود (P<۰/۰۵). تیمار T11 (کشت بذر+NPK) با میانگین ۷/۷۲ در رتبه بعدی بیش‌ترین میزان pH قرار گرفت. کم‌ترین pH نیز بدون اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) به تیمارهای، T5 (کمپوست) و T6 (کود زیستی+Fe+Zn) تعلق گرفت (جدول ٤).

کم‌ترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک در تیمارهای T5 (کمپوست) و T6 (کود زیستی + Fe+Zn) به ترتیب با مقادیر ۰/۹۷ و ۱/۰۰۳ دسی‌زیمنس بر متر ثبت گردید. تیمارهای کودی T1 (شاهد)، T2 (NPK) و T11 (NPK+ بذر)رتبه‌های بعدی کم‌ترین میزان EC را به خود اختصاص دادند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (P<۰/۰۵). بیش‌ترین مقدار EC خاک در تیمارهای T10 و T9 با مقادیر ۲/۸ و ۱/۷٤ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که نسبت به تیمار T5 افزایش۶۵/۳ و ٤٤/۲ درصدی داشتند (جدول ٤).

کاربرد کودهای آلی به‌ویژه کمپوست به‌دلیل داشتن اسیدهای آلی، pH خاک را کاهش می‌دهد. نتایج این بخش با نتایج شریفی و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد (۵۹). اما در شرایطی که کمپوست به‌همراه کود مرغی و کودشیمیایی استفاده می‌شود به‌دلیل افزایش غلظت عناصر محلول به‌ویژه نیتروژن در اثر تجزیه کودهای آلی، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در تیمارهای T10 و T11 نسبت به سایر تیمارها افزایش پیدا کرد. افزایش یون‌ها و نمک‌های محلول در خاک و فاز مایع به‌دلیل تجزیه کودهای حیوانی و بقایای غنی از عناصر غذایی و در پی آن افزایش EC خاک گزارش شده است (۱۳).

**عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم**: مقایسه میانگین مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک پس از کاربرد تیمارهای کودی مختلف و برداشت گیاه نشان داد بین تیمارهای کودی و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P<۰/۰۵). بیش‌ترین مقدار نیتروژن خاک در تیمارهای T9 (۲۵ درصد کود مرغی + ۲۵ درصد کمپوست + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی NPK+ Zn+Fe) و T6 (کود زیستی+Zn+Fe) به ترتیب با میانگین ۰/۱٦ و ۰/۱۵۷ درصد ثبت گردید که به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد افزایش ۳۳/۳۷ و ۳۱/۹۵ درصدی داشتند. تیمارهای T4 (کود مرغی) و T1 (شاهد) بدون اختلاف معنی‌داری به ترتیب با میانگین ۰/۱۱۱ و ۰/۱۰۱ درصد دارای کم‌ترین میزان نیتروژن خاک بودند (جدول ٤). تیمار کودی T6 (کود زیستی+Zn+Fe) با غلظت ۱۱/۱ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها و افزایش ۲۷ درصدی نسبت به شاهد داشت (P<۰/۰۵). تیمارهای T7 ( کود شیمیایی NPK+ اسید هیومیک) و T9 (۲۵ درصد کود مرغی + ۲۵ درصد کمپوست + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی Zn+Fe +NPK) بدون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در رتبه بعدی بیش‌ترین میزان فسفر قابل جذب قرار گرفتند. کم‌ترین میزان فسفر (۸/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ٤). تیمار T10 (۵۰ درصد کود مرغی + ۵۰ درصد کمپوست + ۵۰ درصد Fe+Zn+ NPK+ کود زیستی) با بیش‌ترین مقدار پتاسیم قابل جذب (٤۸۳/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اختلاف معنی‌دار با تیمار T3 (Zn+Fe+NPK) نداشت (P<۰/۰۵). کم‌ترین میزان پتاسیم قابل جذب برای تیمار T1 (شاهد) بود که نسبت به تیمارهای T10 و T3 کاهش ۵۰/۸٦ و ٤۸/۹٦ درصدی داشت (جدول ٤).

جدول ٤- نتایج تجزیه خاک پس از برداشت کلزا.

**Table 4. Results of soil analysis after rapeseed harvest.**

| عناصر پرمصرف Macroelements | | | عناصر کم‌مصرف Microelements | | pH | EC ($dS.m^{-1}$) | تیمارها Treatments |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (%) | P (mg/kg) | K (mg/kg) | Fe (µg/g) | Zn (µg/g) | | | |
| $0.101^{e}$ | $8.1^{d}$ | $237.7^{e}$ | $7.56^{e}$ | $0.443^{g}$ | $7.68^{cd}$ | $1.21^{e}$ | T1 |
| $0.123^{cd}$ | $9.8^{bc}$ | $417^{b}$ | $7.73^{e}$ | $0.76^{bc}$ | $7.66^{de}$ | $1.19^{e}$ | T2 |
| $0.123^{cd}$ | $9.9^{bc}$ | $465.7^{a}$ | $8.86^{cd}$ | $0.79^{ab}$ | $7.70^{bc}$ | $1.60^{c}$ | T3 |
| $0.111^{e}$ | $9.7^{bc}$ | $340.7^{d}$ | $8.80^{cd}$ | $0.62^{ef}$ | $7.70^{bc}$ | $1.33^{d}$ | T4 |
| $0.127^{c}$ | $9.3^{c}$ | $368^{cd}$ | $7.56^{e}$ | $0.62^{ef}$ | $7.61^{f}$ | $0.97^{f}$ | T5 |
| $0.157^{a}$ | $11.1^{a}$ | $340.3^{d}$ | $8.70^{d}$ | $0.63^{ef}$ | $7.60^{f}$ | $1.003^{f}$ | T6 |
| $0.113^{de}$ | $10.6^{ab}$ | $349^{d}$ | $8.96^{c}$ | $0.79^{ab}$ | $7.65^{e}$ | $1.29^{d}$ | T7 |
| $0.14^{b}$ | $9.5^{c}$ | $368^{cd}$ | $8.70^{d}$ | $0.88^{a}$ | $7.65^{e}$ | $1.31^{d}$ | T8 |
| $0.16^{a}$ | $10.6^{ab}$ | $368^{cd}$ | $10^{a}$ | $0.71^{cd}$ | $7.65^{e}$ | $1.74^{b}$ | T9 |
| $0.14^{b}$ | $9.7^{bc}$ | $483.7^{a}$ | $9.43^{b}$ | $0.75^{bc}$ | $7.75^{a}$ | $2.80^{a}$ | T10 |
| $0.13^{bc}$ | $9^{dc}$ | $395^{bc}$ | $7.70^{e}$ | $0.67^{de}$ | $7.72^{ab}$ | $1.20^{e}$ | T11 |

نتایج پژوهش نشان داد که بیش‌ترین غلظت عناصر غذایی در خاک در تیمارهای تلفیقی کودهای آلی و زیستی با کود شیمیایی به‌دست آمد (جدول ٤). حاصلخیزی خاک تحت‌تأثیر مصرف کودهای آلی قرار می‌گیرد؛ زیرا اثرات باقی‌مانده آن به ویژه در مصرف طولانی‌مدت در خاک به‌صورت تنوع زیستی، بهبود خواص فیزیکی خاک، ممانعت از آبشویی، افزایش محتوای عناصر غذایی در خاک و کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی ظاهر می‌شود (۱۲). اثر مثبت استفاده از کود زیستی حاوی گونه‌های مختلف باکتری‌های محرک رشد گیاه بر افزایش محتوای کربن آلی، مواد آلی و فسفر قابل‌دسترس و سایر عناصر غذایی خاک گزارش شده است، که این امر را به قابلیت آن‌ها در افزایش پویایی عناصر غذایی و تثبیت نیتروژن، تنوع جمعیت میکروبی خاک نسبت داده‌اند (۹، ۱۰، ۳۹، ۵۱).

به نظر می‌رسد که در تیمارهای تلفیقی حاوی کود ورمی‌کمپوست، کود مرغی و کود زیستی، افزایش نیتروژن به دلیل معدنی‌شدن نیتروژن آلی موجود در کود، حفظ نیتروژن بیش‌تر در خاک و کاهش هدررفت آن به‌واسطه آلی‌شدن، آبشویی و دنیتریفیکاسیون (نیترات‌زدایی) باشد (٦٣). شرایط مزرعه‌ای (دمای خاک و محتوای آب) برهم‌کنش‌های میکروبی/ آنزیمی مسئول معدنی‌شدن را تحت‌تأثیر قرار داده و مقدار نیتروژن آزاد شده برای گیاه را تعیین می‌کند، اما مقدار بالقوه نیتروژن قابل دسترس برای معدنی‌شدن از یک کود آلی به کود دیگری متفاوت است (۱۱). در پژوهش‌های متعددی اشاره شده که تیمار تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی موجب بهبود مقدار نیتروژن خاک شده است، به گونه‌ای که با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داده است (۲۷، ۷۳). در پژوهشی، رسولی و مفتون (۲۰۱۰) به این نتیجه رسیدند که با افزودن کمپوست ضایعات شهری، غلظت نیتروژن قابل استفاده در خاک تحت کشت گندم افزایش پیدا کرده است (۵۲).

کودهای زیستی حاوی باکتری‌ها و قارچ‌های مفید حل‌کننده فسفات‌ها هستند که معمولاً با اسیدی کردن خاک و یا ترشح آنزیم‌های فسفاتاز موجب رهاسازی

یون فسفات از ترکیبات معدنی شده که قابل جذب می‌باشد (۲۹، ۳۰، ۳۳). مکانیسم اصلی حل شدن فسفات معدنی توسط باکتری‌های حل کننده فسفات (PSB) انتشار اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم مانند اسیدهای فرمیک، استیک، پروپیونیک، لاکتیک، گلیکولیک، فوماریک و سوکسینیک و فسفاتازهای اسیدی مانند فیتاز سنتز شده توسط ریزجانداران خاک است. در خاک گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل از اسیدهای آلی می‌توانند کاتیون‌های متصل به فسفات را کلات کرده و در نتیجه آن را به اشکال محلول تبدیل کنند (۳۵). سویه‌های جنس سودوموناس[1]، باسیلوس[2] و ریزوبیوم[3] از قوی‌ترین حلال‌کننده‌های فسفات هستند (٥٤). افزایش فسفر قابل‌جذب خاک در مصرف کودهای آلی ممکن است به‌دلیل انتشار مقادیر قابل‌توجهی دی اکسید کربن در حین تجزیه میکروبی مواد آلی و کمپلکس‌سازی کاتیون کلسیم باشد که در خاک‌های آهکی و قلیایی عامل اولیه تثبیت فسفر می‌باشد. علاوه بر این، کودهای آلی فعالیت فسفاتاز و دهیدروژناز را به واسطه افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی در خاک افزایش می‌دهند و این امر باعث افزایش فسفر قابل‌دسترس به‌واسطه معدنی‌شدن/ حل‌شدن می‌گردد (۲۳، ۲٤). ملکی فراهانی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند، مصرف تلفیقی کود شیمیایی و آلی (زیستی و ورمی‌کمپوست) محتوای فسفر خاک را نسبت به سایر تیمارها افزایش داد. آن‌ها علت این امر را افزایش فسفر محلول در اثر افزایش فعالیت‌های باکتری‌های حل‌کننده فسفر پیشنهاد دادند (٤۳). مصرف کودهای شیمیایی به صورت متعادل می‌تواند عامل افزایش مقدار پتاسیم خاک باشد، اما در این مطالعه، مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی توانست بهتر از مصرف جداگانه کود شیمیایی، مقدار پتاسیم خاک را افزایش دهد. این امر می‌تواند به‌دلیل بهبود شرایط فیزیکی خاک باشد. وضعیت پتاسیم خاک در کشاورزی آلی متفاوت از سایر عناصر می‌باشد؛ چرا که این عنصر به مقدار زیاد در ترکیبات آلی افزوده شده به خاک وجود داشته و درصد زیادی از آن به شکل محلول و قابل استفاده می‌باشد. بنابراین با افزوده شدن ترکیبات آلی به خاک، مقدار بالای یون‌های پتاسیم وارد محلول خاک شده و ترکیب محلول خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. در پژوهش‌های زیادی، افزایش مقدار پتاسیم خاک در نتیجه افزودن کودهای آلی و شیمیایی یا تلفیقی گزارش شده است که نتایج این پژوهش با آن‌ها مطابقت دارد (٤۱، ٦۹).

**عناصر کم‌مصرف آهن و روی:** بیش‌ترین مقدار آهن قابل جذب با غلظت ۱۰ میکروگرم بر گرم در تیمار T9 (۲٥ درصد کود مرغی + ۲٥ درصد کمپوست + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی Zn+Fe +NPK) حاصل شد. تیمارهای T1 (شاهد)، T2 (کود شیمیایی NPK)، T5 (کمپوست) و T11 (کشت بذر+NPK) بدون هیچ اختلافی (P<۰/۰٥) با یکدیگر کم‌ترین مقدار آهن قابل‌جذب خاک را به‌خود اختصاص دادند که نسبت به تیمار T9 به‌ترتیب کاهش ۲٤/٤، ۲۲/۷، ۲٤/٤ و ۲۳ درصدی داشتند (جدول ٤). تیمار T8 (٥۰ درصد کود مرغی + ٥۰ درصد کمپوست+ ٥۰ درصد کود شیمیایی Zn+Fe+NPK) با بیش‌ترین مقدار روی قابل جذب گیاه (۰/۸۸ میکروگرم بر گرم) افزایش ٤۹/٦٦ درصدی نسبت به تیمار شاهد نشان داد. تیمارهای T7 (NPK+ اسید هومیک) و T3 (NPK+Fe+Zn) با میانگین ۰/۷۹ میکروگرم در گرم در گروه بعدی بیش‌ترین میزان Zn قرار گرفتند کم‌ترین مقدار روی برای تیمار T1 (شاهد) با مقدار ۰/٤٤۳ میکروگرم بر کیلوگرم بود (جدول ٤).

کودهایی با منشاء آلی از جمله کود مرغی و کمپوست به طور طبیعی حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای از عناصر کم‌مصرف هستند که به علت وجود مواد آلی زیاد به صورت کلات‌های آلی در آمده و باعث

1- Pseudomonas
2- Bacillus
3- Rhizobium

افزایش غلظت این عناصر از جمله عنصر آهن در خاک می‌شوند. در پژوهش‌های زیادی، نتایج مشابهی با مصرف کودهای آلی حاصل شده است. بنابراین افزایش میزان آهن قابل‌استفاده خاک با مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی، نشان‌دهنده پتانسیل این کودها در کاهش کمبود این عنصر می‌باشد. افزایش مقدار آهن خاک در نتیجه افزودن کودهای آلی و شیمیایی یا تلفیقی گزارش شده است که نتایج این پژوهش با آن‌ها مطابقت دارد (٤١، ٦٩). هم‌چنین افزایش روی قابل جذب خاک در اثر کاربرد کودهای آلی می‌تواند به علت تشکیل اسیدهای آلی و افزایش اسید کربنیک خاک می‌شود که در نهایت با کاهش pH خاک می‌تواند سبب محلول شدن این عنصر در خاک شود (٥٩). در پژوهش جعفری و همکاران (٢٠٢٠) ذکر شده است که کاربرد کودهای آلی سبب افزایش روی قابل‌جذب در خاک می‌شود که علت آن تجمع زیاد عنصر روی در حضور کودهای آلی در اشکال محلول (یونی و کمپلکس‌های آلی محلول) و تبادلی می‌باشد (٢٦).

**اثرات سیستم‌های مختلف کودی بر غلظت عناصر برگ و دانه:** نتایج تجزیه واریانس (جدول ٥) نشان داد اثر مصرف تیمارهای کودی مختلف بر غلظت عناصر در برگ و دانه گیاه کلزا در سطح یک درصد معنی‌دار بود ($P<0/01$).

**جدول ٥- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر در برگ و دانه گیاه کلزا.**

**Table 5. ANOVA results of the effect of different treatments on the concentration of elements in leaf and seed of rapeseed.**

| | منبع تغییرات SOV | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | نیتروژن N | فسفر P | پتاسیم K | آهن Fe | روی Zn |
| برگ Leaf | بلوک Block | 2 | $0.0096^{ns}$ | $0.000075^{ns}$ | $0.000303^{ns}$ | $3.67^{ns}$ | $1.267^{*}$ |
| | تیمار Treatment | 10 | $1.0308^{**}$ | $0.0194^{**}$ | $0.6892^{**}$ | $251.53^{**}$ | $184.12^{**}$ |
| | خطا Error | 20 | 0.00417 | 0.000139 | 0.00230 | 4.579 | 0.217 |
| | ضریب تغییرات (٪) C.V% | - | 1.48 | 2.78 | 1.24 | 1.79 | 0.73 |
| دانه Seed | بلوک Block | 2 | $0.1562^{*}$ | $0.00039^{ns}$ | $0.0165^{ns}$ | $215.02^{*}$ | $15.13^{ns}$ |
| | تیمار Treatment | 10 | $1.6463^{**}$ | $0.03675^{**}$ | $0.5179^{**}$ | $809.75^{**}$ | $161.83^{**}$ |
| | خطا Error | 20 | 0.01463 | 0.000156 | 0.02153 | 47.97 | 9.48 |
| | ضریب تغییرات (٪) C.V% | - | 2.49 | 3.05 | 3.47 | 5.05 | 4.66 |

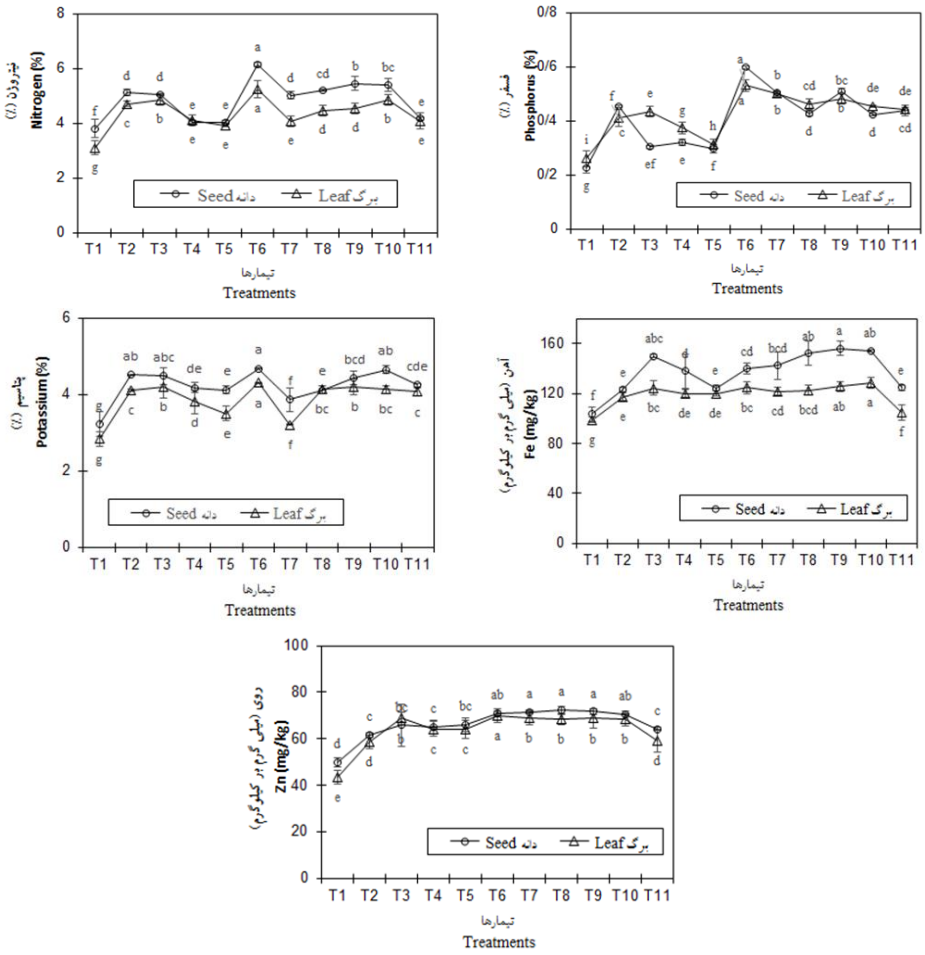
$^{ns}$، $^{*}$ و $^{**}$ به‌ترتیب یعنی غیرمعنی‌دار و معنی‌داری در سطح ٥ و ١ درصد

$^{ns}$ not significant, $^{*}$ $P<0.05$ and $^{**}$ $P<0.01$

**برگ:** مقایسه میانگین غلظت عناصر برگی نشان داد بیش‌ترین غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم (به‌ترتیب ٥/٢٥، ٠/٥٣ و ٤/٣ درصد) در مصرف تیمار T6 (کود زیستی+Fe+Zn) حاصل شد و کم‌ترین مقادیر این عناصر به‌ترتیب ٣/١، ٠/٢٦ و ٢/٨٣ درصد در تیمار T1 (شاهد) مشاهده گردید که افزایش ٤٠/٩، ٥٠/٩٤ و ٣٤/٢ درصدی نسبت به شاهد داشتند. تیمار T10 (٥٠ درصد کود مرغی + ٥٠ درصد کمپوست + ٥٠

درصد Zn+Fe+NPK + کود زیستی) و سپس تیمار T9 (۲۵ درصد کود مرغی + ۲۵ درصد کمپوست + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی Zn+Fe +NPK) بیش‌ترین غلظت آهن (۱۲۸/٦٤ و ۱۲۵/٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) برگی را به خود اختصاص داد. کم‌ترین میزان آهن برگی پس از تیمار T1 (شاهد) در برگ‌های تیمار شده با T11 (کشت بذر+NPK) مشاهده شد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان روی به ترتیب به تیمارهای T6 (کود زیستی+Fe+Zn) با میانگین ٦۹/۷۵ و تیمار T1 (شاهد) با میانگین ٤۳/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک تعلق گرفت (شکل ۱).

**دانه:** بیش‌ترین غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه به‌ترتیب با مقادیر ٦/۱٤، ۰/۵۹ و ٤/٦۷ درصد مربوط به تیمار کودی T6 (کود زیستی+Fe+Zn) و کم‌ترین آن‌ها مربوط به تیمار T1 (شاهد) بود که نسبت به سایر تیمارهای کودی دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد (P<۰/۰۵). تیمار T9 (۲۵ درصد کود مرغی + ۲۵ درصد کمپوست + ۱۰۰ درصد کود شیمیایی NPK+ Zn+Fe) و تیمار T1 (شاهد) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین (۱۵٦/۲٦ و ۱۰۳/۸٤ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) غلظت آهن دانه را داشتند. هم‌چنین بیش‌ترین غلظت روی دانه (۷۲/۳۸، ۷۱/۵۸ و۷۱/٤٦ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) به‌ترتیب در تیمارهای T8 (۵۰ درصد کود مرغی + ۵۰ درصد کمپوست+۵۰ درصد کود شیمیایی Zn+Fe +NPK)، T9 و T7 (کود شیمیایی NPK+ اسید هیومیک)، و کم‌ترین این میزان (٤٦/۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار T1 (شاهد) مشاهده گردید (شکل ۱).




**شکل ۱- اثر کودهای زیستی، آلی و شیمیایی بر غلظت عناصر مغذی در دانه و برگ کلزا.**

**Figure 1. Effect of bio, organic and chemical fertilizer on the percentage of nutrients concentration in seed and leaf.**

بنابراین طبق شکل ۱ بیش‌ترین محتوای عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی برگ و دانه کلزا در کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و آلی با کودهای شیمیایی به‌دست آمده است. به‌طوری‌که بیش‌ترین غلظت عناصر NPK برگ و دانه در تیمار مصرف تلفیقی کود زیستی حاوی باکتری‌های آزوسپریلیوم، ازتوباکتر، گونه‌های مختلف سودوموناس با کود شیمیایی آهن و روی می‌باشد. اثر مثبت مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی در رشد و عملکرد گیاه به دفعات گزارش شده است که به دلیل افزایش ذخیره عناصر غذایی خاک و تنوع عملکردی جمعیت میکروبی می‌باشد. زیرا، کودهای آلی به‌عنوان محل استقرار و تکثیر ریزجانداران مفید خاکزی عمل کرده و کلنیزاسیون میکروبی ریشه و ریزوسفر را تقویت می‌کند (۱، ۲، ٤٥). حداقل دو مکانیسم در توضیح اثرات مفید باکتری‌های محرک رشد گیاه برای جذب عناصر غذایی وجود دارد؛ ۱) افزایش مستقیم قابلیت دسترسی عناصر غذایی در ریزوسفر از طریق تثبیت نیتروژن مولکولی، آزادسازی اشکال آلی و معدنی فسفر و پتاسیم، تولید یونوفورها و تسهیل جذب عناصر کم‌مصرف و ۲) تحریک غیرمستقیم سیستم‌های جذب یون در ریشه با اصلاح ساختار ریشه از طریق تولید فیتوهورمون‌ها و تبادل سیگنال‌های مولکولی که عمدتاً منجر به افزایش انشعاب‌های جانبی ریشه و رشد ریشه‌های موئین می‌گردد (٦٥). استفاده از کودهای زیستی به خصوص تلقیح بذرهای نخود با ریزوبیوم در مقایسه با تیمار بدون تلقیح و اثر مثبت آن در افزایش غلظت نیتروژن گیاه، پروتئین دانه، فسفر دانه و افزایش ماده خشک توسط پژوهشگران گزارش شده است (٤٧). باکتری‌های افزایش دهنده رشد گیاه مثل باکتری‌های جنس ازتوباکتر[1] و سودوموناس به‌ویژه زمانی که در ترکیب با یکدیگر استفاده می‌شوند، پتانسیل افزایش جذب عناصر غذایی را دارند و عملکرد این موجودات در خاک‌های فقیر از لحاظ مواد غذایی زیاد است (٦، ۳۰، ۳۳). باکتری‌های ازتوباکتر با تثبیت زیستی نیتروژن، افزایش سطح جذب ریشه‌ها و سنتز هورمون‌های محرک رشد مثل ایندول استیک اسید، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها موجب افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود وضعیت رشدی گیاه می‌شوند (۱، ٦٤). در مطالعه‌ای، یساری و پاتوردان (۲۰۰۷) به این نتیجه رسیدند که تجمع نیتروژن دانه کلزا در تیمارهای کودهای پایه توام با روی و کود زیستی حاوی ازتوباکتر و آزسپیریلیوم بیش‌تر از سایر تیمارها بود و هم‌چنین افزایش معنی‌داری در کل نیتروژن کلزا در مراحل روزت، ساقه‌دهی و گلدهی در تیمارهای حاوی کود زیستی و کود نیتروژن مشاهده کردند (۷۰).

میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی با کاهش pH خاک از طریق تولید میکروبی اسیدهای آلی مانند اسید اگزالیک، اسید سیتریک، اسید گلوکونیک، اسید کتوگلونیک و اسید مالیک و ترشح پروتون و با معدنی نمودن فسفر آلی از طریق تولید فسفاتازهای اسیدی باعث افزایش انحلال فسفات معدنی و جذب آن توسط گیاه می‌شوند (۲۹، ٤٧). تلفیق تیمار کود زیستی با کود شیمیایی قادر به تأمین فسفر مورد نیاز گیاه بوده، بنابراین به نظر می‌رسد در شرایط کاربرد تلفیقی کودزیستی با کود شیمیایی فعالیت باکتری‌ها باعث تغییر اسیدیته خاک و افـزایش حلالیت و دسترسی گیاه به یون‌های قابل‌جذب فسفات و حتی باعث افزایش جذب عناصر غذایی دیگر و بهبود رشد شده است. هم‌چنین در بین باکتری‌ها، جنس سودوموناس یکی از مهم‌ترین باکتری‌های حل‌کننده فسفات و روی است که به دلیل تولید طیف‌های گسترده‌ای از ترکیبات تحریک‌کننده رشد مانند تولید اکسین، سیدروفور، اسید سالیسیلیک

1- Azotobacter

و کیتیناز به طور غیرمستقیم باعث افزایش جذب روی و دیگر عناصر غذایی می‌شود (۲۹). اکبری و همکاران (۲۰۰۹) افزایش میزان پتاسیم بذر و اندام هوایی آفتابگردان را تحت‌تأثیر کودهای سبز و تلقیح بذر با باکتری را بیان نمودند (۲). تولید سیدروفورها توسط باکتری‌های سودوموناس حلالیت آهن، روی، مس و منگنز را افزایش داده و اکسین تولید شده توسط این باکتری‌ها موجب افزایش طول ریشه، طول تارهای کشنده و انشعابات ریشه‌های فرعی گیاهان شده و از این طریق می‌تواند باعث افزایش جذب عناصر کم‌مصرف و جمع‌افزایی یون‌ها شود (٤٤).

نکته قابل توجه افزایش نسبی غلظت آهن و روی در دانه بود. افزایش غلظت آهن دانه می‌تواند در نتیجه بهبود تولید آسیمیلات ناشی از فتوسنتز جاری و هم‌چنین انتقال مجدد و مطلوب مواد به دانه‌ها باشد (۱۸). هم‌چنین غلظت زیاد روی می‌تواند به دلیل ارتباط متقابل آوند چوبی و آوند آبکش در انتقال این عناصر به دانه‌های در حال رسیدن باشد. جابجایی درونی روی در گیاه برنج پس از محلول‌پاشی برگی سولفات روی توسط ایشیمارو و همکاران (۲۰۰۵) بررسی شد؛ آن‌ها دریافتند که روی پس از جذب از راه روزنه‌ها و انتقال به سلول‌های برگ در آن‌ها ذخیره شده و در ادامه مراحل رشد توسط ناقل‌های پروتئینی خاصی که هم‌زمان در جابجایی آهن نیز نقش دارند، درون گیاه جابجا می‌شود. این امر موجب انتقال عنصر روی و آهن از برگ‌های اواخر رشد از طریق آوند آبکش به سوی دانه‌ها می‌شود (۲۲). مطالعات متعددی نشان داده است که مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی با کودهای آلی مانند کود حیوانی به‌طور معنی‌داری محتوای کربن آلی خاک، نیتروژن کل و عناصر غذایی قابل جذب را افزایش داده (۵۳، ٧٤) و ویژگی‌های حاصلخیزی خاک را بهبود بخشیده است (٤۰). برای تولید پایدار، مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی با آلی از نظر تامین متعادل عناصر غذایی (٦٧) و عملکرد، بیش‌تر از مصرف کودهای آلی به‌تنهایی بوده است (۱۵). هم‌چنین استفاده کودهای آلی با مقادیر مناسب کودهای شیمیایی اثر مثبت بیش‌تری بر زیتوده میکروبی و سلامت خاک داشته است (۵۵).

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش، نشان داد که کاربرد کودهای زیستی و آلی به‌همراه کودهای شیمیایی نتایج بهتری از مصرف به‌تنهایی کود شیمیایی دارد. به‌طور کلی در میان تیمارها، تیمار کود زیستی+کود شیمیایی آهن و روی (T6) مؤثرترین تیمار در افزایش محتوای نیتروژن و فسفر قابل‌دسترس خاک، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی برگ و نیز نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه بود. سپس تیمارهای T8، T9 و T10 یعنی تیمارهای مصرف تلفیقی کودهای آلی (مرغی و کمپوست) و کود زیستی با کودهای شیمیایی از نظر محتوای عناصر غذایی در برگ و دانه گیاه و ویژگی‌های خاک پس از برداشت، بهترین تیمارها بودند. با توجه به هزینه‌های زیاد تولید کودهای شیمیایی و نگرانی‌های زیست‌محیطی در صورت مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی، استفاده ترکیبی از کودهای آلی به‌دلیل مزایای مفید متعدد بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و نیز کودهای زیستی به‌دلیل افزایش قابلیت زیست فراهمی عناصر غذایی، تسهیل جذب و تحریک رشد گیاه، می‌تواند رهیافت مؤثری برای دستیابی به تولیدات کشاورزی پایدار و اکولوژیکی باشد.

## منابع


1. Ahmad, F., Ahmad, I., and Khan, M.S. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. Microbiological Research. 163: 2. 173-181.
2. Akbari, P., Ghalavand, A., and Modares Sanavi, S.A.M. 2009. Effects of different nutrition systems and biofertilizer (PGPR) on phenology period yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Electronic Journal of Crop Production. 2: 3. 119-134. (In Persian)
3. Al-Suhaibani, N., Selim, M., Alderfasi, A., and El-Hendawy, S. 2021. Integrated application of composted agricultural wastes, chemical fertilizers and biofertilizers as an avenue to promote growth, yield and quality of maize in an arid agro-ecosystem. Sustainability. 13, 7439. https://doi.org/10.3390/su13137439.
4. Al-Taai, S.H.H. 2021. The effect of fertilizer uses on environmental pollution: A Review. Review of International Geographical Education Online. 11: 5. 3620-3529.
5. Ansari, R.A., and Mahmood, I. 2017. Optimization of organic and bio-organic fertilizers on soil properties and growth of pigeon pea. Scientia Horticulturae. 226: 1-9.
6. Artursson, V., Finlay, R.D., and Jansson, J.K. 2006. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. Environmental microbiology. 8: 1. 1-10.
7. Bargaz, A., Lyamlouli, K., Chtouki, M., Zeroual, Y., and Dhiba, D. 2018. Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. Frontiers in Microbiology. 9: 1606. doi: 10.3389/fmicb.2018.01606.
8. Bayati, F., Aynehband, A., and Fateh, E. 2015. Effect of different rates and application times of nano-iron on yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research. 4: 36. 805-812. (In Persian)
9. Bhardwaj, D., Ansari, M.W., Sahoo, R. K., and Tuteja, N. 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. Microbial Cell Factories. 13: 1. 1-10.
10. Biswas, S., Ali, M.N., Goswami, R., and Chakraborty, S. 2014. Soil health sustainability and organic farming: A review. Journal of Food Agriculture and Environment. 12: 3-4. 237-243.
11. Cassity-Duffey, K., Cabrera, M., Gaskin, J., Franklin, D., Kissel, D., and Saha, U. 2020. Nitrogen mineralization from organic materials and fertilizers: Predicting N release. Soil Science Society of America Journal. 84: 522-533.
12. Diacono, M., and Montemurro, F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility: A review. Agronomy for Sustainable Development. 30: 2. 401-422.
13. Do Carmo, D.L., de Lima, L.B., and Silva, C.A. 2016. Soil fertility and electrical conductivity affected by organic waste rates and nutrient inputs. Revista Brasileira de Ciencia Do Solo. 40: 1-17.
14. Ebrahimian, E., Bybordi, A., and Seyyedi, S.M. 2017. How nitrogen and zinc levels affect seed yield, quality, and nutrient uptake of canola irrigated with saline and ultra-saline water. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 48: 3. 345-355.
15. Efthimiadou, A., Bilalis, D., Karkanis, A., and Williams, B.F. 2010. Combined organic/inorganic fertilization enhances soil quality and increased yield, photosynthesis and sustainability of sweet maize crop. Australian Journal of Crop Science. 4: 722-729.
16. Emadodin, I., Reinsch, T., Rotter, A., Orlando-Bonaca, M., Taube, F., and Javidpour, J. 2020. A perspective on the potential of using marine organic fertilizers for the sustainable management of coastal ecosystem services. Environmental Sustainability. 3: 1. 105-115.

17.Emam, S.M., and Osman, E.A.M. 2020. Integrated application of organic, bio and mineral fertilizers on nutrients uptake and productivity of *Zea mays* L. under semiarid condition, Journal of Plant Nutrition. 44: 3. 309-321.
18.Fan, H., Wang, X., Sun, X., Li, Y., Sun, and X., and Zheng, C. 2014. Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. Scientia Horticulturae, 177: 118-123.
19.Faria, W.M., Figueiredo, C.C.D., Coser, T.R., Vale, A.T., and Schneider, B.G. 2018. Is sewage sludge biochar capable of replacing inorganic fertilizers for corn production? Evidence from a two-year field experiment. Archives of Agronomy and Soil Science. 64: 4. 505-519.
20.Fridrihsone, A., Romagnoli, F., and Cabulis, U. 2020. Environmental life cycle assessment of rapeseed and rapeseed oil produced in Northern Europe: A Latvian case study. Sustainability. 12, 5699. doi:10.3390/ su12145699.
21.Gouda, S., Kerry, R.G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.S., and Patra, J.K. 2018. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. Microbiological Research. 206: 131-140.
22.Ishimaru, Y., Suzuki, M., Kobayashi, T., Takahashi, M., Nakanishi, H., Mori, S., and Nishizawa, N.K. 2005. OsZIP4, a novel zinc-regulated zinc transporter in rice. Journal of Experimental Botany. 56: 422. 3207-3214.
23.Islam, M.R., Bilkis, S., Hoque, T.S., Uddin, S., Jahiruddin, M., Rahman, M. M., and Datta, R. 2021a. Mineralization of farm manures an slurries under aerobic and anaerobic conditions for subsequent release of phosphorus and sulphur in soil. Sustainability. 13: 15. 8605.
24.Islam, M.R., Bilkis, S., Hoque, T.S., Uddin, S., Jahiruddin, M., Rahman, M.M., and Hossain, M.A. 2021b. Mineralization of farm manures and slurries for successive release of carbon and nitrogen in incubated soils varying in moisture status under controlled laboratory conditions. Agriculture. 11: 9. 846.
25.Jackson, M.L. 1973. Soil chemical analysis. New Delhi, India: Prentice Hall. 498p.
26.Jafari, M., Jahantab, E., and Moameri, M. 2020. Investigation of remediation of contaminated soils with heavy metals using *Helianthus annuus* L. plant. Journal of Environmental Science and Technology (JEST). 22: 7. 1-14. (In Persian)
27.Jia, Y., Hu, Z., Ba, Y., and Qi, W. 2021. Application of biochar-coated urea controlled loss of fertilizer nitrogen and increased nitrogen use efficiency. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 8: 1. 1-11.
28.Jones Jr, J.B., and Case, V.W. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. Soil Testing and Plant Analysis. 3: 389-427.
29.Khan, A.A., Jilani, G., Akhtar, M.S., Naqvi, S.M.S., and Rasheed, M. 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. Journal of Agricultural and Biological Science. 1: 1. 48-58.
30.Khan, M.S., Zaidi, A., and Ahmad, E. 2014. Mechanism of phosphate solubilization and physiological functions of phosphate-solubilizing microorganisms. In Phosphate solubilizing microorganisms Springer, Cham. pp. 31-62.
31.Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, Sodium and potassium. P 225-246. In: A.L. Page (eds.), Methods of soil analysis, Part 2. American society of agronomy, Madison. WI.
32.Kumar, P., and Sharma, M.K. 2013. Nutrient deficiencies of field crops: guide to diagnosis and management. CABI. Wallingford, UK. 378p.
33.Kumar, A. 2016. Phosphate solubilizing bacteria in agriculture biotechnology: diversity, mechanism and their role in plant growth and crop yield. International Journal of Advanced Research, 4: 4. 116-124.

34. Kumar, A., Kumar, A., Bihari, B., and Qasmi, M. 2020. Soil fertility and mineral nutrition of plants. Current Research in Soil Fertility, AkiNik, New Delhi. Pp: 65-78.
35. Lee, K.K., Mok, I.K., Yoon, M.H., Kim, H.J., and Chung, D.Y. 2012. Mechanisms of phosphate solubilization by PSB (Phosphate-solubilizing Bacteria) in soil. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 45: 2. 169-176.
36. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 3. 421-428.
37. Liu, X.B., Zhang, X.Y., Wang, Y.X., Sui, Y.Y., Zhang, S.L., Herbert, S.J., and Ding, G. 2010. Soil degradation: a problem threatening the sustainable development of agriculture in Northeast China. Plant, Soil and Environment. 56: 2. 87-97.
38. Liu, X., Zhao, C., and Song, W. 2017. Review of the evolution of cultivated land protection policies in the period following China's reform and liberalization. Land Use Policy. 67: 660-669.
39. Madani, H., Malboubi, M., and Naderi Boroujerdi, G. 2010. Combined application of PSB and phosphorus fertilizer in autumn rapeseed cultivation. Third International Seminar on Oilseeds and Edible Oils, Tehran, Oilseeds Science and Industry Coordination Center. (In Persian)
40. Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M., and Ullah, S. 2017. Effect of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physic-chemical properties. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 17: 1. 22-32.
41. Mahmood, Y.A., Mohammed, I.Q., and Ahmed, F.W. 2020. Effect of organic fertilizer and foliar application with garlic extract, whey and bio fertilizer of bread yeast in availability of NPK in soil and plant, growth and yield of tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill). Plant Archives. 20: 1. 151-158.
42. Majidian, M., Shoja, T., and Rabiei, M. 2015. Effects of S, B, Zn, and their interaction on quantitative and qualitative yields of rapeseed as second crop in the paddy field. Journal of Plant Production. 2: 2. 35-50. (In Persian)
43. Maleki Farahani, S., Mazaheri, D., and Chayichi, M.R. 2013. Effect of simultaneous chemical and organic fertilizer application on plant ans soil chemical properties of barley (*Hordeum Vulgare* L. var Turkman) under water Deficit irrigation regimes. Journal of Crops Improvement. 15: 2. 61-74.
44. Marschner, H., and Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and soil, 159: 1. 89-102.
45. Mekonnen, H., and Kibret, M. 2021. The roles of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable vegetable production in Ethiopia. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 8: 1. 1-11.
46. Mulvaney, B.J., and Page, A.L. 1982. Nitrogen-total. P 595-624. In: A.L. Page R.H. Miller and D.R. Keeney (eds), Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
47. Nazeri, P., Kashani, A., Khavazi, K., Ardakani, M.R., and Mirakhori, M. 2012. Effect of use microbial zinc granulated phosphorous bio fertilizer on growth indices of bean. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding. 8: 3. 111-126. (In Persian)
48. Olsen, R.V., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. P 403-430. In: A.L. Page (ed), Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison.
49. Paramesh, V., Dhar, S., Dass, A., Kumar, B., Kumar, A., El-Ansary, D.O., and Elansary, H.O. 2020. Role of integrated nutrient management and agronomic fortification of zinc on yield, nutrient uptake and quality of wheat. Sustainability. 12:9. 3513. https:// doi.org/10.3390/su12093513.

50. Pathak, H., Mohanty, S., Jain, N., and Bhatia, A. 2010. Nitrogen, phosphorus, and potassium budgets in Indian agriculture. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 86: 3. 287-299.
51. Pellegrini, M., Sepra, D.M., Ercole, C., and del Gallo, M. 2020. *Allium cepa* L. inoculation with a consortium of plant growth-promoting bacteria: effecta on plant growth and development and soil fertility status and microbial community. Proceedings. 66: 20. doi:10.3390/ proceedings2020066020.
52. Rasouli, F., and Maftoun, M. 2010. Residual effects of two organic matters with or without nitrogen on growth and chemical composition of wheat and some soil chemical properties. Journal of Water and Soil. 24: 2. 262-273. (In Persian)
53. Redda, A., and Kebede, F. 2017. Effects of integrated use of organic and inorganic fertilizers on soil properties performance, using rice (*Oryza sativa* L.) as an indicator crop in tselemti district of north-western Tigray, Ethiopia. International Research Journal of Agricultural Science and Technology. 1: 6-14.
54. Rodríguez, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances. 17: 4-5. 319-339.
55. Salehi, A., Fallah, S., and Sourki, A. 2017. Organic and inorganic fertilizer effect on soil $CO_2$ flux, microbial biomass, and growth of *Niqella sativa* L. International Agrophysics, 31: 103-116.
56. Sanders, K.R., Beasley, J.S., Bush, E.W., and Conger, S.L. 2019. Fertilizer source and irrigation depth affect nutrient leaching during coleus container production. Journal of Environmental Horticulture. 37: 4. 113-119.
57. Savci, S. 2012. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. International Journal of Environmental Science and Development. 3: 1. 77-80.
58. Scharf, P.C., Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Davis, J.G., Hubbard, V.C., and Lory, J.A. 2005. Field-scale variability in optimal nitrogen fertilizer rate for corn. Agronomy Journal. 97: 2. 452-461.
59. Sharifi, M., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2011. Effects of sewage sludge, compost and cow manure on availability of soil Fe and Zn and their uptake by corn, alfalfa and tagetes flower. Journal of Water and Soil Science (JWSS). 15: 56. 141-154. (In Persian)
60. Swaney, D.P., and Howarth, R.W. 2019. Phosphorus use efficiency and crop production: Patterns of regional variation in the United States, 1987-2012. Science of the Total Environment. 685: 174-188.
61. Tefera, D.A., Bijman, J., Slingerland, M., van der Velde, G., and Omta, O. 2020. Quality improvement in African food supply chains: Determinants of farmer performance. The European Journal of Development Research. 32: 1. 152-175.
62. Thong, P., Sahoo, U.K., Pebam, R., and Thangjam, U. 2019. Spatial and temporal dynamics of shifting cultivation in Manipur, Northeast India based on time-series satellite data. Remote Sensing Applications: Society and Environment. 14: 126-137.
63. Timsina, J. 2018. Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand? Agronomy. 8: 21-234.
64. Turan, M., Ekinci, M., Yildirim, E., Güneş, A., Karagöz, K., Kotan, R., and Dursun, A. 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient and hormone content of cabbage (*Brassica Oleracea*) seedlings. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 38: 3. 327-333.
65. Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M.L., Touraine, B., Moënne-Loccoz, Y., Muller, D., Legendre, L., Wisniewski-Dyé, F., and Prigent-Combaret, C. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. Frontiers in Plant Science. 4: 356. doi: 10.3389/ fpls.2013.00356.
66. Wani, S.P., Anantha, K.H., and Garg, K.K. 2017. Soil properties, crop yield, and economics under integrated crop management practices in Karnataka,

Southern India. World Development. 93: 43-61.
67. Wapa, J.M., Kwari, J.D., and Ibrahim, S.A. 2014. Effects of combining chemical fertilizer and three different sources of organic manure on the growth and yield of maize in Sub-Sahelian Savanna, Nigeria. Journal of Agriculture and Environ-mental Sciences. 2: 299-314.
68. Xu, H.L. 2001. Effects of a microbial inoculant and organic fertilizers on the growth, photosynthesis and yield of sweet corn. Journal of Crop Production. 3: 1. 183-214.
69. Yang, Q., Zheng, F., Jia, X., Liu, P., Dong, S., Zhang, J., and Zhao, B. 2020. The combined application of organic and inorganic fertilizers increases soil organic matter and improves soil microenvironment in wheat-maize field. Journal of Soils and Sediments. 20: 5. 2395-2404.
70. Yasari, E., and Patwardhan, A.M. 2007. Effects of (Azotobacter and Azosprillium) inoculants and chemical fertilizers on growth and productivity of canola (*Brassica napus* L.). Asian Journal of Plant Sciences. 6: 77-82.
71. Yousefpour, Z., and Yadavi, A.R. 2013. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative yield of sunflower. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 24: 1. 95-112. (In Persian)
72. Zaheer, I.E., Ali, S., Saleem, M.H., Imran, M., Alnusairi, G.S., Alharbi, B.M., Riaz, M., Abbas, Z., Rizwan, M., and Soliman, M.H. 2020. Role of iron–lysine on morpho-physiological traits and combating chromium toxicity in rapeseed (*Brassica napus* L.) plants irrigated with different levels of tannery wastewater. Plant Physiology and Biochemistry. 155: 70-84.
73. Zhang, W., Yu, C., Wang, X., and Hai, L. 2020. Increased abundance of nitrogen transforming bacteria by higher C/N ratio reduces the total losses of N and C in chicken manure and corn stover mix composting. Bioresource Technology. 297: 122410.
74. Zuoping, Z., Sha, Y., Fen, L., Puhui, J., Xiaoying, W., and Yan'an, T. 2014. Effects of chemical fertilizer combined with organic manure on Fuji apple quality, yield and soil fertility in apple orchard on the Loess Plateau of China. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 7: 2. 45-55.