



The effect of plant growth promoting bacteria inoculated in soil and different rates of phosphorous fertilizer on growth and yield of autumn wheat

Mohammad Mirzaei Heydari^{1✉}, Zahra Babaei²

1. Corresponding Author, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. Email: mirzaeiheydari@yahoo.com

2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran. Email: zz.babaei@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Feb. 19, 2022

Revised: Sep. 5, 2022

Accepted: Oct. 31, 2022

Published online: Dec. 22, 2022

Keywords:

Azotobacter,
Bio-fertilizer,
Inorganic Fertilizer,
Pseudomonas,
Soil Inoculation.

ABSTRACT

Recently, growth-promoting bacteria have been proposed as complementary and increased efficiency of chemical fertilizers in order to increase soil fertility in crop production in sustainable agriculture. In order to study the effect and efficacy of plant growth promoting bacteria and different rates of phosphorous fertilizer on growth parameters, nutrient availability and wheat yield (Mahdavi variety), a field experiment was conducted as factorial based on completely randomized block design in three replications. Experimental factors include five rates of phosphorous (0, 25, 50, 75, and 100 kg/ha P) and soil inoculation with bacteria at four levels including no-inoculation (Control, I0), inoculation with Azotobacter (I1), inoculation with Pseudomonas (I2) and inoculation with Azotobacter and Pseudomonas (I3). Results of variance analysis showed a significant difference on the effect of seed inoculation and phosphorous levels on plant height, root length and germination percent of wheat seeds. In this research, the treatment of 100 percent P-requirement in the soil inoculated with Azotobacter and Pseudomonas showed a greatest effect on increasing soil phosphorous (27%), growth (28%), yield (27%), yield components (31% grain yield) and grain phosphorous (27%) of autumn wheat. Increase in plant dry weight by rhizobacteria is due to increase in nutrients uptake and subsequently better plant growth which could result in higher harvesting index.

Cite this article: Mirzaei Heydari, M., & Babaei, Z., (2022) The Effect of Plant Growth Promoting Bacteria Inoculated in Soil and Different Rates of Phosphorous Fertilizer on Growth and Yield of Autumn Wheat. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (10), 2247-2259. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.339365.669215>.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.339365.669215>

اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد گیاه با خاک و سطوح مختلف کود فسفات‌ها بر روی رشد و عملکرد گندم پاییزه

محمد میرزائی حیدری^۱✉، زهرا بابایی^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. ایمیل:

mirzaeiheydari@yahoo.com۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران. ایمیل: zz.babaei@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۱

واژه‌های کلیدی:

ازتوباکتر،

تلقیح خاک،

سودوموناس،

کود زیستی و کود شیمیایی.

در حال حاضر باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه به‌عنوان گزینه‌ای برای افزایش کارایی کودهای شیمیایی، به‌منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات در کشاورزی پایدار مطرح شده‌اند. به منظور بررسی تأثیر تلقیح و کارایی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر خصوصیات رشدی، دسترسی به عناصر غذایی، رشد و عملکرد گندم پاییزه مهدوی و سطوح مختلف کود فسفات‌ها، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شرایط مزرعه ای اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح کود فسفره (P) شامل عدم مصرف، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات‌ها براساس آنالیز خاک و تلقیح خاک با باکتری در چهار سطح عدم تلقیح خاک (I0)، تلقیح خاک با ازتوباکتر (I1)، تلقیح خاک با سودوموناس (I2)، تلقیح خاک با ازتوباکتر و سودوموناس (I3) بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات ارتفاع گیاه، طول ریشه و درصد جوانه‌زنی بذرهای گندم نشان دادند که بین سطوح مختلف کود فسفات‌ها، نوع باکتری تلقیح شده و اثر متقابل آن‌ها در کلیه این صفات به جز درصد جوانه‌زنی اختلاف آماری معنی‌دار وجود داشت. در این پژوهش تیمار ۱۰۰ درصد نیاز کود فسفره همراه تلقیح خاک با ازتوباکتر و سودوموناس بالاترین تأثیر را در افزایش پارامترهای فسفر خاک (۴۱٪)، رشد و ارتفاع (۲۸٪)، عملکرد دانه (۲۷٪)، اجزای عملکرد (۳۱٪ وزن دانه) و فسفردانه (۲۸٪) گندم نشان داد. افزایش در وزن کل گیاه به وسیله ریزوباکترها به واسطه افزایش در جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد بهتر گیاه می‌باشد که می‌تواند موجب شاخص برداشت بالاتری گردد.

استناد: میرزائی حیدری، محمد، بابایی، زهرا، (۱۴۰۱) اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد گیاه با خاک و سطوح مختلف کود فسفات‌ها بر روی رشد و عملکرد گندم پاییزه. مجله

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.339365.669215>. ۲۲۴۷-۲۲۵۹، ۵۳ (۱۰)، ۲۰۲۲

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.339365.669215>

مقدمه

گندم با نام علمی (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین گیاه زراعی کشور با ۶/۵ میلیون هکتار سطح زیر کشت در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ (Anonymous, 2022) قسمت اعظم نیاز غذایی جامعه ما را تشکیل می‌دهد و فراورده‌های حاصل از آن مثل نان، اهمیت ویژه‌ای در تغذیه مردم ایران دارد (Rajabi, 2009). امروزه گندم تقریباً ۲۰ درصد از کالری موردنیاز جمعیت جهان را تأمین کرده و سالانه حدود ۱۴/۶ درصد از زمین‌های زیر کشت در دنیا به کشت گندم اختصاص پیدا می‌کند (USDA, 2019). گندم به دلیل نیاز غذایی بالا و تولید بالای آن، تهدیدی جدی برای پایداری بلندمدت می‌باشد. از آنجا که تولید پایدار بدون تغییر در سلامت خاک و بهره‌وری محصول به‌دست می‌آید، استفاده توأم از کود کود شیمیایی و کود زیستی می‌تواند منجر به این پایداری گردد (Kumar, 2018). کودهای زیستی را با استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید، به صورت آغشته کردن خاک، ریشه و یا بذر بکار می‌برند و این ریزموجودات مفید با فعالیت بیولوژیکی آنها، عناصر و مواد غذایی را برای گیاهان قابل استفاده نموده و موجب سلامت خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌گردند (Emami et al., 2011; Kapulnik et al., 2019). کودهای شیمیایی به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر روی عملکرد گیاهان زراعی مطرح می‌باشند، ولی استفاده بیش از اندازه از آن‌ها به‌ویژه هنگامی که با عملیات مدیریتی نامناسب مثل سوزاندن بقایای گیاهی همراه شوند، میزان ماده آلی خاک را به شدت کاهش می‌دهد (Meena et al., 2017). این موضوع روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیر گذاشته و امکان فرسایش خاک‌ها را افزایش می‌دهد. امروزه به دلیل افزایش اهمیت مسائل زیست محیطی توجه بیشتری به کودهای زیستی برای جایگزینی کودهای شیمیایی شده است (Vejdani Aram et al., 2018). تحقیقات نشان می‌دهد که مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی باعث آلودگی و تخریب اکوسیستم‌های کشاورزی شده است. لذا برنامه‌های کشاورزی پایدار در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش کارایی موثر آن‌ها ضروری می‌باشد (Jahanshahi et al., 2017).

زمینه‌های کاربردی علم بیوتکنولوژی خاک علاوه بر تولید کودهای زیستی، شامل استفاده از ریزجانداران مفید خاک‌زی به منظور حذف سموم و سایر آلاینده‌های خاک، تجزیه سریع بازمانده‌های گیاهی، بهبود ساختمان فیزیکی خاک، اصلاح خاک‌های فرسوده، کمک به حفظ سلامت گیاه و موارد دیگری از این قبیل هستند (Bakshaei et al., Mirzaei Heydari, 2021; 2014). با استفاده از میکروارگانیسم‌های خاک و مخصوصاً باکتری‌ها که با انجام فرآیندهای مختلف زیستی در چرخه عناصر غذایی خاک دخالت دارند، می‌توان رشد گیاهان را بهبود بخشید. این باکتری‌ها، باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه نامیده می‌شوند که جزء باکتری‌های آزادی خاک هستند. این باکتری‌ها اغلب در نزدیکی یا حتی در داخل ریشه گیاهان یافت می‌شوند (Mirzaei Heydari et al., 2019; Mirzakarami et al., 2020). همچنین اگرچه در نظام‌های کشاورزی پایدار، کودهای زیستی نیز به‌صورت نهاده وارد سیستم می‌شود، اما این فشرده سازی در طولانی مدت سبب تعادل عناصر غذایی در خاک خواهد شد و فاقد مشکلات زیست‌محیطی است. استفاده از کودهای شیمیایی همراه با کودهای زیستی احتمالاً بهترین روش برای حفظ سطح تولید پایدار غذا است (Emami et al., 2019).

هدف اصلی از توسعه فناوری زیستی در خصوص باکتری‌های محرک رشد گیاه، افزایش جمعیت باکتری‌های مؤثر در خاک است که می‌تواند به توسعه کشاورزی پایدار کمک کند و نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها کاهش می‌یابد (Edalatjo et al., 2017). نتایج تحقیق نجفی وفا و همکاران (2022)، نشان داد که کاربرد کودهای زیستی به همراه دو رقم گندم اثر معنی‌داری بر عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه گندم داشت و در کنترل تنش و مقاومت گندم به تنش کم‌آبی مؤثر واقع گردید.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد در شرایط تنش و کم‌آبی کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفره اکثر شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه گندم از لحاظ آماری تفاوتی با کاربرد کامل کود شیمیایی فسفره نداشت (Azarmi et al., 2017). پژوهشگران در مطالعه‌ای عنوان داشتند که کاربرد کودهای زیستی نیتروژنی مورد آزمایش نه تنها باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد گردید، بلکه باعث صرفه‌جویی در مصرف کود شیمیایی نیتروژنی اوره شد. میزان عملکرد و اجزاء عملکرد در تیمار کودی نیتروکسین توأم با کود شیمیایی اوره در مقایسه با مصرف اوره به تنهایی بیشتر بود. براساس نتایج آن‌ها کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس ازتوباکتر و آزوسپیریلوم، در صورت همراهی با کود شیمیایی نیتروژنی اوره می‌تواند جایگزین مناسب و مطمئنی برای کودهای شیمیایی نیتروژنی باشد (Hosseini et al., 2020). تلقیح بذر ذرت با باکتری‌های حل‌کننده فسفات اثر مثبتی بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت دارد (Ehteshami et al., 2007). همچنین گزارش شده است کاربرد توأم کودهای زیستی و شیمیایی فسفره به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ارتفاع بوته، طول سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت شد. افزایش عملکرد و جذب عناصر توسط گیاه با افزایش فسفر قابل استفاده گیاه ارتباط داشته و به نقش مهم این عنصر در توسعه ریشه و جلوگیری از تجمع

ترکیبات فسفره و آثار سوء آن بر جذب برخی عناصر در خاک مرتبط می‌باشد (Yousefipor et al., 2019). تأثیر جدایه‌های باکتری آزوسپیریولوم را بر افزایش عملکرد گندم تحت شرایط تنش خشکی بررسی گردید که نتایج نشان داد تلقیح این جدایه‌ها باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی، افزایش تعداد سنبله، تعداد دانه در هر سنبله و افزایش عملکرد گیاهان گندم گردید (Arzanesh et al., 2010). با توجه به اهمیت تولید پایدار گندم به عنوان یکی از مهمترین منابع غذایی بشر و یک محصول استراتژیک، و لزوم توجه به جایگزین کردن منابع کودهای زیستی به جای کودهای شیمیایی، این مطالعه به منظور بررسی و مقایسه اثر استفاده از مقادیر مختلف کود شیمیایی فسفات و تلقیح خاک بستر کاشت گندم با باکتری‌های محرک رشد/زوتوباکتر و سودوموناس بر عملکرد و اجزاء عملکرد گندم و مقدار عناصر غذایی دانه گندم و خاک پس از برداشت گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های محل اجرای آزمایش

این بررسی در سال زراعی ۹۵-۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه واقع در شهرستان ایوان استان ایلام در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۴۰ متر از سطح دریا انجام شد.

نمونه‌برداری خاک

قبل از اجرای آزمایش نمونه خاک مورد استفاده مزرعه (با یک سال آیش) به روش مرکب از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر از تمام تکرارها تهیه و بعد از انتقال به آزمایشگاه دانشگاه ایلام، در معرض هوا خشک شده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن شامل بافت به روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1996)، pH با دستگاه pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی با استفاده هدایت سنج در عصاره اشباع، درصد رطوبت اشباع خاک با استفاده از گل اشباع در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، وزن مخصوص ظاهری خاک با روش پارافین مذاب (Baruach and Athakur, 1998)، کربنات کلسیم با روش کلسیمتری (Ehyayi and Asghar Zad, 2004)، نیتروژن کل با روش کج‌دال (Ehyayi and Asghar Zad, 2004)، فسفر قابل جذب با روش اولسن (Gupta, 2000)، پتاسیم با روش شعله سنجی (Boltz and Howel, 1978) و کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

انجام آزمایش مزرعه‌ای و اعمال تیمارها

به‌منظور بررسی تأثیر و کارایی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر روی خصوصیات رشدی، دسترسی به عناصر غذایی، رشد و عملکرد گندم و سطوح مختلف کود فسفات (سوپرفسفات تریپل بر اساس نفشه طرح قبل از کشت استفاده شد) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در کرت‌هایی به ابعاد ۴ متر در ۲ متر، فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر اجرا شد و موارد آزمایشگاهی در آزمایشگاه دانشگاه ایلام انجام گردید. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح کود فسفره (P خالص) شامل عدم مصرف کود فسفات (P₀)، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفات (P₁)، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات (P₂)، ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفات (P₃)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات (P₄) براساس آنالیز خاک و تلقیح خاک با باکتری بصورت محلول (I) در چهار سطح عدم تلقیح تیمار (I₀)، تلقیح خاک با/زوتوباکتر (I₁)، تلقیح خاک با سودوموناس (I₂)، تلقیح خاک با/زوتوباکتر و سودوموناس (I₃) بود.

رقم مورد استفاده رقم گندم پاییزه مهدوی از مؤسسه نهال و بذر کرج تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت. باکتری‌های مورد استفاده در این تحقیق از بانک میکروبی بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب تأمین شد و برای تلقیح خاک ابتدا قبل از کاشت بذر در شیارهای کاشت مقدار مورد استفاده باکتری به خاک اضافه شد و کاملاً با خاک مخلوط گردید. در زمان کاشت (۲۴ مهرماه) کود فسفات در مقادیر ذکر شده به کرت‌ها اضافه گردید. تراکم جمعیتی باکتری در مایه تلقیح /زوتوباکتر (*Azotobacter chroococcum*) و سودوموناس (*Pseudomonas fluorescens 187*) به ترتیب $۱۰^۹ \times ۲/۲$ و $۱۰^۹ \times ۱/۷$ سلول به ازای هر گرم مایه تلقیح بود. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول زیر ارائه شده است. (Page, 1982) (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

واکنش خاک (pH)	هدایت الکتریکی (dSm ⁻¹)	کربن آلی (%)	نیترोजن (%)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	کربنات کلسیم (g/kg)	بافت خاک	رطوبت ظرفیت مزرعه (%)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)
۸/۱	۱/۹۵	۰/۷۵	۰/۸۲	۹/۹	۲۹۰	۷۰	لوم رسی	۲۲	۱/۵۲

برداشت نهایی محصول پس از حذف حاشیه‌ها و قسمت‌های نمونه‌برداری شده از خطوط ۴ و ۵ کرت‌های فرعی در سطح ۲ مترمربع انجام شد و مقدار عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه به‌طور جداگانه محاسبه گردید. پس از محاسبه عملکرد، اندام‌های مختلف گیاه (برگ، ساقه و دانه) به‌طور جداگانه در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد در آون (به مدت ۴۸ ساعت) خشک گردید و با استفاده از روش میکروکجدال با دستگاه اتوآنالیز مقدار نیترोजن موجود در بخش‌های مختلف گیاه محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه نیز با ضرب کردن درصد نیترोजن دانه در ضریب ۶/۲۵ میزان پروتئین موجود در دانه بدست آمد (Cottenie, 1980). برای اندازه‌گیری فسفر در نمونه‌های گیاهی از روش رنگ سنجی زرد وانادات-مولیدات استفاده گردید (Emami, 1996). برای اندازه‌گیری سدیم، پتاسیم، آهن و روی در اندام هوایی گیاهان، از روش سوزاندن خشک و حل کردن در اسید کلریدریک استفاده شد و برای تعیین غلظت آهن و روی از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA-670 آزمایشگاه دانشگاه ایلام استفاده گردید (Gupta, 2000).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

اطلاعات به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل آماری شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

مقدار نیترोजن و فسفر خاک پس از برداشت گندم

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط نوع باکتری تلقیح شده اثر معنی‌داری بر مقدار نیترोजن خاک نشان داد ($P < 0.01$). همچنین براساس نتایج بدست آمده مقدار اختلاف مقادیر خاک از نظر فسفر به صورت معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف کود فسفاته، نوع باکتری تلقیح شده و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت ($P < 0.01$ ، جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین مقدار فسفر خاک از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز کود فسفاته بدست آمد و با افزایش مقدار فسفر کودی، مقدار فسفر خاک پس از برداشت گیاه نیز افزایش یافت. همچنین بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۳)، بیشترین مقدار فسفر خاک مربوط به تلقیح خاک با ازتوباکتر و سودوموناس می‌باشد که توانسته است باعث افزایش فسفر خاک و در نتیجه دسترسی آن برای گیاه گردد. باکتری ازتوباکتر هم به صورت تلقیح تنهایی و هم در ترکیب با سودوموناس به واسطه قابلیت تثبیت نیترोजن هوا و همچنین خصوصیات محرک رشدی، افزایش معنی‌داری حاصل گردید. بر اساس نتایج تجزیه واریانس برهمکنش سطوح مختلف کود فسفاته و تلقیح باکتری روی مقدار فسفر خاک معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مقدار فسفر خاک مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز کود فسفاته و تلقیح ترکیب باکتری‌های سودوموناس و ازتوباکتر می‌باشد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۱). در تحقیقی ذکر شده است که کاربرد این باکتری‌ها به طور معنی‌داری بر نیترोजن کل خاک مؤثر بوده است (Orhan et al., 2006). می‌توان افزایش نیترोजن را به دلیل افزایش تثبیت نیترोजن با کاربرد باکتری محرک رشد دانست. همچنین بیان شده است که باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش نسبت نیترोजن به کربن می‌شوند (Chang et al., 2012). گزارش شده است که کاربرد باکتری‌های محرک رشد، باعث افزایش رشد و عملکرد و همچنین افزایش صفات فیزیولوژیک گیاه نسبت به تیمارهای شاهد می‌گردد (Emami et al., 2019).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس سطوح مختلف کود فسفات و تلقیح خاک با باکتری‌های محرک رشد بر خصوصیات رشدی و عملکردی گندم و مقدار عناصر غذایی دانه پس از برداشت گیاه

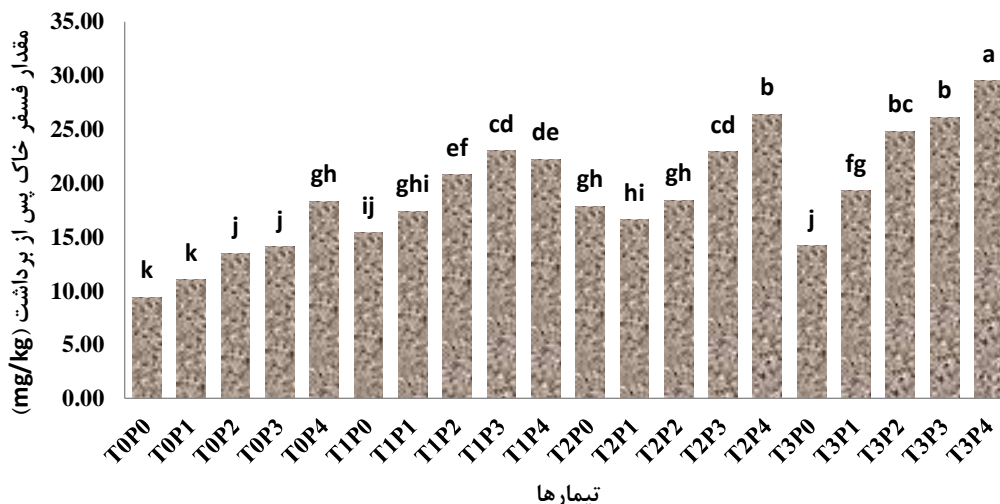
میانگین مربعات												
منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن خاک	فسفر خاک	ارتفاع گیاه	طول ریشه	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	نیتروژن دانه	پروتئین دانه	فسفر دانه	آهن دانه	روی دانه
کود فسفات	۴	۶/۰۴**	۲۴۸**	۲۲۲/۲**	۲۵/۹**	۱/۱**	۲۴۶/۵**	۰/۱۳**	۱۴/۵**	۰/۵**	۲۵۶/۱**	۵۱۷/۸**
تلقیح خاک	۳	۰/۰۰۳ns	۱۹۴/۸**	۸۶۶/۴**	۲۴۹/۴**	۲/۸**	۶۰۹/۶**	۲/۵۷**	۱۵۹/۶**	۳/۹**	۹۱۸/۵**	۳۱/۳ns
تلقیح خاک* کود فسفات	۱۲	۰/۰۰۳ns	۱۱/۸**	۱۸*	۳/۵**	۰/۰۹**	۳۹/۷**	۰/۰۲**	۲/۱**	۰/۰۱**	۳۱/۱**	۵۲/۶**
خطا	۳۲	۰/۰۰۳	۱/۳۸	۸/۳۵	۴/۲۴	۳/۰۳۳	۵/۶۷	۰/۰۳۴	۰/۳۷	۰/۰۱۴	۵۵/۵۹	۴۲/۲۳
ضریب تغییرات (%)	-	۹/۰۷	۴/۰۴	۶/۰۲	۷/۲	۹/۹۵	۵/۶۸	۱۰/۸۹	۵/۸۸	۵/۶۱	۱۱/۴۸	۱۶/۲۱

ns و **،* به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف کود فسفات و تلقیح خاک با باکتری‌های محرک رشد بر خصوصیات رشدی و عملکردی گندم و سایر صفات مورد مطالعه

تیمار	نیتروژن خاک (mg/kg)	فسفر خاک (mg/kg)	ارتفاع گیاه (cm)	طول ریشه (cm)	عملکرد دانه (t/ha)	وزن هزار دانه (g)	نیتروژن دانه (%)	پروتئین دانه (%)	فسفر دانه (%)
کود فسفات									
عدم مصرف کود فسفات (شاهد)	۰/۶۱a	۱۴/۲d	۴۲/۳b	۲۵c	۲/۸۹d	۳۴/۱b	۱/۵۳a	۸/۸۸b	۱/۹c
۲۵ درصد نیاز کود فسفات	۰/۶۴a	۱۶/۱d	۴۹/۲a	۲۷/۵bc	۳/۱۴cd	۴۲/۵a	۱/۶۴a	۹/۷۸b	۱/۹۹c
۵۰ درصد نیاز کود فسفات	۱۹/۴c	۵۱/۳a	۲۷/۶bc	۲۷/۶bc	۳/۳۵bc	۴۳/۵a	۱/۹۵a	۲/۰۹bc	۱/۴c
۷۵ درصد نیاز کود فسفات	۰/۶۳a	۲۱/۶b	۵۰/۲a	۲۹/۹ab	۳/۵ab	۴۳/۵a	۱/۷۷a	۱۰/۹a	۲/۲۲b
۱۰۰ درصد نیاز کود فسفات	۰/۶۶a	۲۴/۱a	۵۳/۸a	۳۳/۱۰a	۳/۶۷a	۴۶/۰a	۱/۸۰a	۱۱/۶۸a	۱/۴۲a
تلقیح خاک									
عدم تلقیح خاک (شاهد)	۰/۰۸b	۱۳/۳c	۴۱b	۱۹/۳c	۲/۷۹c	۳۳/۷c	۱/۲۷b	۶/۴۲d	۱/۵۵c
تلقیح با ازتوباکتر	۱/۲۰a	۱۹/۹b	۴۵b	۲۳/۸b	۳/۱۴b	۴۱/۴b	۲/۰۴a	۱۱/۶۷b	۱/۸۳b
تلقیح با سودوموناس	۰/۱۰b	۲۰/۰۴b	۵۴a	۲۵/۲a	۳/۵۱a	۴۳/۵b	۱/۳۹b	۹/۵۴c	۲/۶۰a
تلقیح با ازتوباکتر و سودوموناس	۱/۱۷a	۲۲/۸a	۵۷a	۳۶/۳a	۳/۸a	۴۹/۱a	۲/۰۴a	۱۴/۱۱a	۲/۵۱a

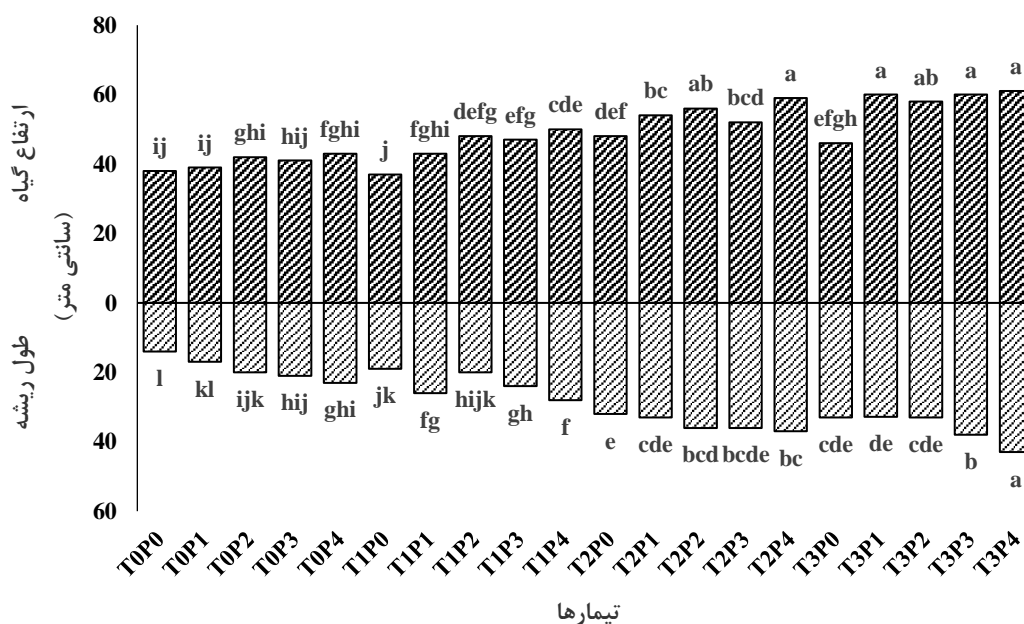
میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال کمتر از ۵ درصد در آزمون دانکن ندارند.



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف کود فسفات و تلقیح خاک با باکتری‌های محرک رشد بر فسفر خاک پس از برداشت گیاه

ارتفاع گیاه و طول ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات ارتفاع گیاه، طول ریشه و درصد جوانه زنی بذرهای گندم نشان دادند که بین سطوح مختلف کود فسفات، نوع باکتری تلقیح شده و برهمکنش آن‌ها در کلیه این صفات به جز درصد جوانه‌زنی اختلاف آماری معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار این صفات از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز کود فسفات بدست آمد. همچنین بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۳)، بیشترین مقدار ارتفاع گیاه مربوط به تلقیح بذر با/زوتوباکتر می‌باشد که توانسته است باعث افزایش ارتفاع گیاه و در نتیجه افزایش زیست توده گیاه گردد. از نظر صفت طول ریشه، تیمارهای تلقیح با باکتری سودوموناس به تنهایی یا در ترکیب با/زوتوباکتر اختلاف معنی‌داری نداشتند و هر دو تیمار توانستند طول ریشه را به صورت معنی‌داری افزایش دهند. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها بر روی ارتفاع گیاه نشان داد که مقدار ارتفاع گیاه مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز کود فسفات و تلقیح ترکیب باکتری‌های سودوموناس و/زوتوباکتر می‌باشد. همچنین براساس نتایج بدست آمده همین تیمار بالاترین میزان طول ریشه را نیز به خود اختصاص داد (شکل ۲). در مجموع تلقیح خاک با استفاده از ترکیب دو باکتری سودوموناس و/زوتوباکتر تأثیر بالایی بر افزایش صفات رشدی و افزایش رشد گندم داشته است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که باکتری‌های محرک رشد به دلیل تأثیر بر افزایش جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر می‌توانند منجر به افزایش وزن خشک و عملکرد گندم گردند. افزایش در وزن کل گیاه به وسیله ریزوباکترها به واسطه افزایش در جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد بهتر گیاه می‌باشد که می‌تواند موجب شاخص برداشت بالاتری گردد. در آزمایشی، تلقیح دانه گندم با/زوتوباکتر در ایلام منجر به افزایش ۱۴ درصدی ارتفاع بوته گندم شد (Esmailpour *et al.*, 2013)، آن‌ها این افزایش ارتفاع را به جذب بیشتر مواد غذایی توسط گیاه، بهبود ویژگی‌های خاک مانند محتوای مواد آلی و افزایش نیتروژن قابل دسترس نسبت دادند. نتایج تحقیقات Hosseini *et al.* (2020) نیز مؤید نتایج این تحقیق بود.

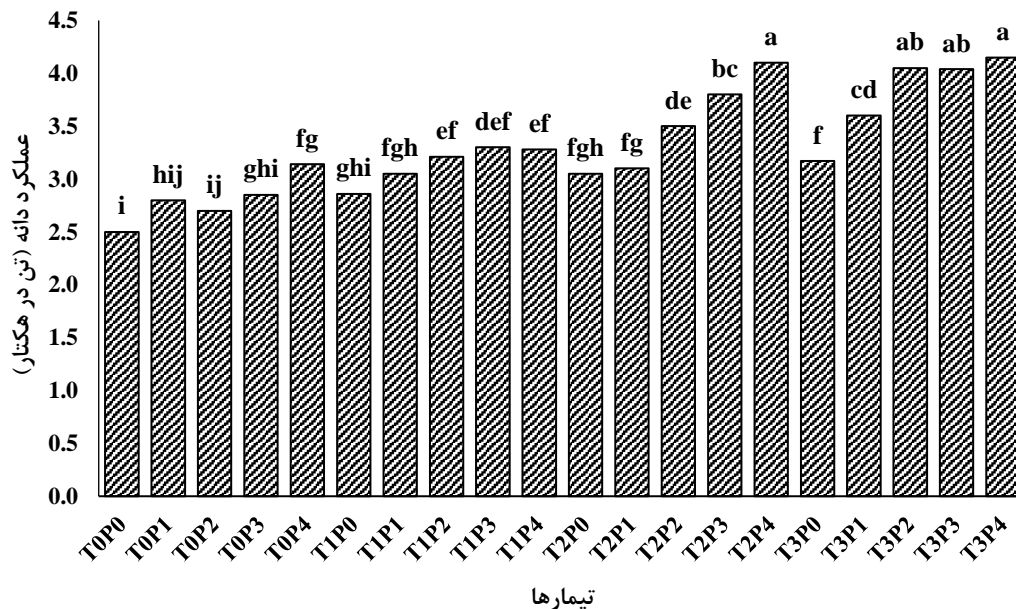


شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف کود فسفات و تلقیح خاک با باکتری‌های محرک رشد بر ارتفاع گیاه و طول ریشه گندم

وزن هزار دانه و عملکرد دانه

در این پژوهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه تحت اثر سطوح مختلف کود فسفات و تلقیح بذر با باکتری در سطح احتمال یک درصد معنی دار شدند (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین، کود فسفات در سطح ۱۰۰ درصد نیاز منجر به بالاترین وزن هزار دانه به مقدار ۴۹/۳ گرم گردید که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمار داشت. ترکیب باکتری/زوتوباکتر و سودوموناس و تلقیح آنها با بذر گندم منجر به بالاترین مقدار وزن هزار دانه گردید که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها و کاربرد این باکتری‌ها به صورت تنهایی داشت و توانست باعث افزایش کیفیت دانه از نظر وزن دانه گردد. از نظر شاخص برداشت هم تیمارهای تلقیح ترکیب باکتری بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده بود که البته اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسات میانگین بالاترین مقدار وزن هزار دانه مربوط به

سطح چهارم کود فسفاته و تلقیح ترکیبی باکتری‌های *ازتوباکتر* و *سودوموناس* می‌باشد. همچنین تیمارهای حاوی باکتری *سودوموناس* کارایی بیشتری در افزایش وزن هزاردانه و به طبع آن کیفیت و کمیت محصول گندم داشته است. نتایج نشان داد که تأثیر سطوح متفاوت کود فسفاته، تیمارهای باکتریایی و برهمکنش آن‌ها روی عملکرد دانه گندم معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲، $P < 0.01$). از طرفی نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کاربرد سطوح متفاوت کود فسفاته و تلقیح بذر گندم با باکتری‌های محرک رشد، تیمار ۱۰۰ درصد نیاز کود فسفاته و تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس* و *ازتوباکتر*، بالاترین مقدار عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد کود فسفاته و تلقیح با باکتری *سودوموناس* به تنهایی نداشت که حاکی از کارایی بالای باکتری‌های *سودوموناس* به عنوان کودهای زیستی بسیار موثر در افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (شکل ۳). نتایج بررسی‌های Akbari et al. (2009) نشان داد که عملکرد بذرهای تلقیح شده آفتابگردان با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد نسبت به عملکرد بذرهای بدون تلقیح از افزایش ۹ درصدی برخوردار بودند. Kader et al. (2002) نیز بیان کردند تلقیح باکتری *ازتوباکتر* با بذر گندم به تنهایی ۱۸ درصد افزایش در تعداد دانه و عملکرد گاه داشته، درحالی‌که باکتری همراه با کود نیتروژنه باعث افزایش قابل توجه تعداد دانه و میزان نیتروژن جذب شده توسط گیاه می‌گردد. همچنین گزارش شد که تلقیح بذر گندم با *ازتوباکتر*، عملکرد آن را به میزان ۱/۹ تا ۲ درصد مقایسه با بذر بدون تلقیح افزایش داد (Katiyar et al. 2011).

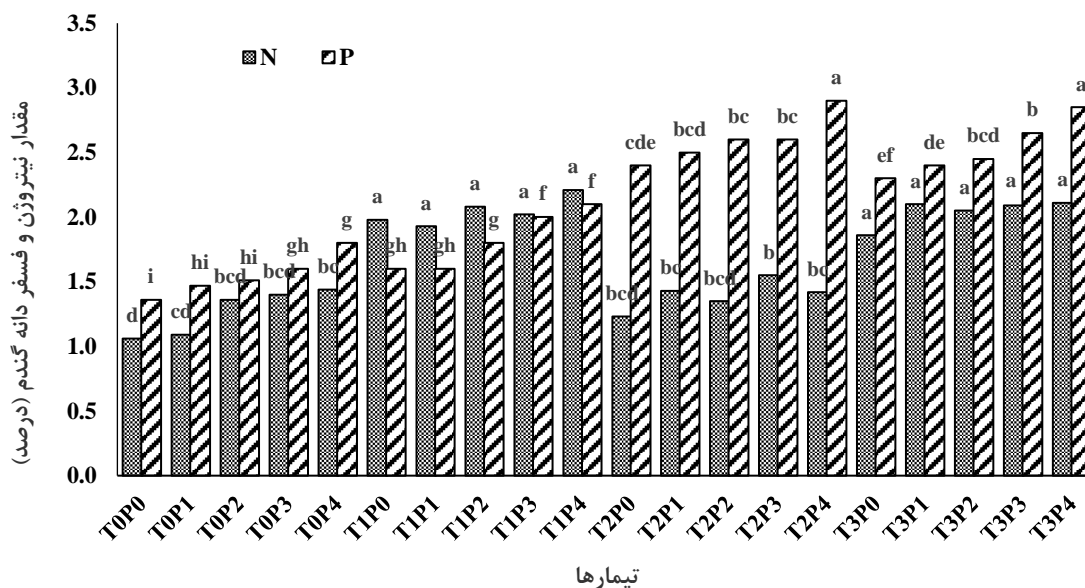


شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف کود فسفاته و تلقیح خاک با باکتری‌های محرک رشد در عملکرد دانه گندم.

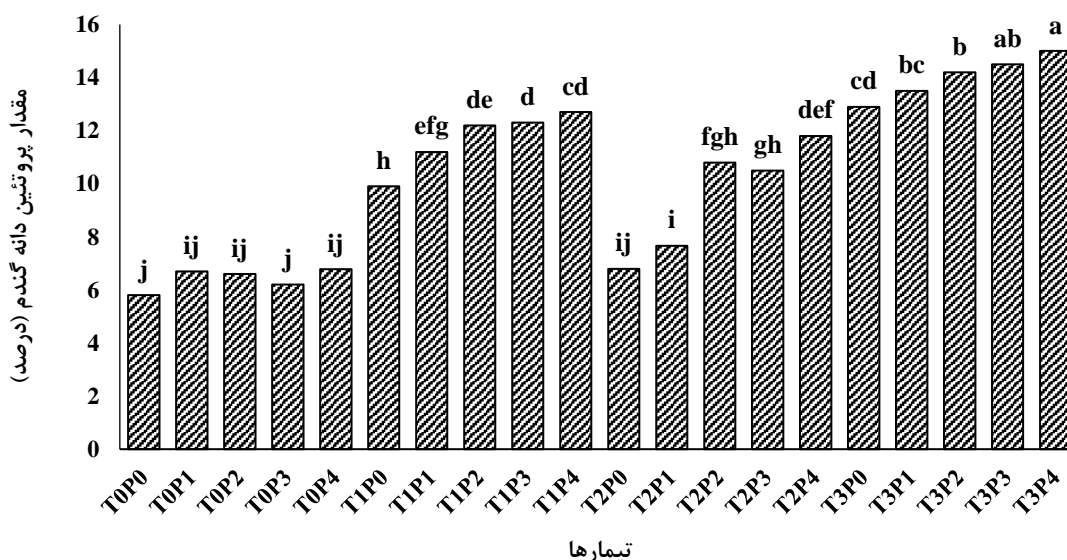
نیتروژن، فسفر و پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که استفاده از کودهای فسفاته توانست مقدار فسفر، نیتروژن و پروتئین دانه ($P < 0.01$) را به صورت معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهد. همچنین براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، مقدار پروتئین، نیتروژن و فسفر دانه توسط تلقیح بذر گندم با باکتری‌های محرک رشد نیز تحت تأثیر قرار گرفتند ($P < 0.01$ ، جدول ۲). تلقیح بذر گندم با *سودوموناس* توانست به واسطه پتانسیل بالای *سودوموناس* در انحلال فسفات‌های خاک باعث افزایش معنی‌دار فسفر دانه گندم گردد. همچنین همان‌طور که در جدول (۳) ارائه شده است، تلقیح باکتری *ازتوباکتر* با خاک باعث افزایش معنی‌دار مقدار نیتروژن در بذر گندم گردید (حدود ۴۷ درصد) که به واسطه فعالیت تثبیت ازت *ازتوباکتر* و افزایش عرضه آن به گیاه در نتیجه فعالیت *ازتوباکتر* می‌باشد. در همین راستا Seyedi et al. (2018) در مطالعات خود بیان داشتند که با افزایش کود زیستی جذب نیتروژن بیشتر شده و در نتیجه نیتروژن بیشتری به دانه‌ها منتقل خواهد شد در نتیجه درصد نیتروژن دانه افزایش یافت. برهمکنش کود فسفاته و تلقیح با باکتری‌های محرک رشد بر روی مقدار نیتروژن و فسفر و پروتئین دانه معنی‌دار گردید و همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌گردد در مورد فسفر کارایی *سودوموناس* و در مورد نیتروژن کارایی *ازتوباکتر* بسیار بالا می‌باشد که بواسطه پتانسیل بالای این باکتری‌ها در خاک و در افزایش رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاه می‌باشد. در مورد برهمکنش

کود فسفات و باکتری‌های محرک رشد بر روی مقدار پروتئین دانه گندم، تلقیح بذر گندم با ازتوباکتر باعث افزایش معنی‌دار نیتروژن دانه و به طبع آن مقدار پروتئین دانه گردید (شکل ۵). Mostajeran et al. (2005) در آزمایشی گزارش کردند که پرایمینگ بذر گندم قبل از کشت سبب افزایش درصد پروتئین می‌شود هر چند که میزان این تأثیر با اثر متقابل رقم زراعی و سویه‌های باکتری همبستگی مستقیمی داشت. ولی در همه شرایط، همپاری باکتری محرک رشد و گندم وضعیت بهتری عرضه نمود. کودهای زیستی از طریق ترشح اسیدهای آلی و معدنی باعث افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی نظیر فسفر در ریزوسفر می‌شوند (Ghobady et al., 2012). Yassari et al. (2015) گزارش کردند که باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌توانند با سنتز هورمون‌های گیاهی باعث افزایش رشد گیاه شوند به این ترتیب که مراحل اولیه رشد گیاهی را تحت تأثیر قرار داده و ریشه حجم بیشتری از خاک را اشغال می‌کند و سطح جذب را افزایش می‌دهد.



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف کود فسفات و تلقیح خاک با باکتری‌های محرک رشد بر مقدار نیتروژن و فسفر دانه گندم

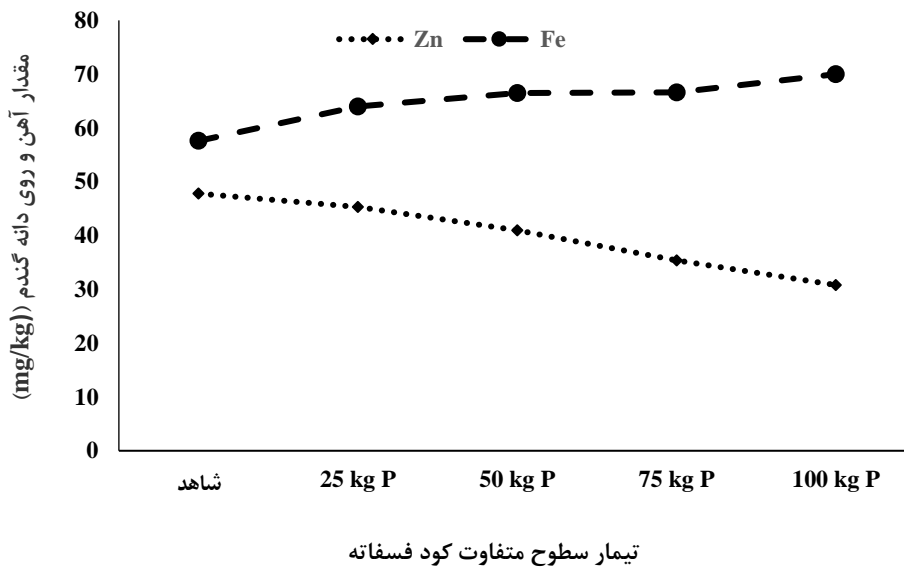


شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف کود فسفات و تلقیح خاک با باکتری‌های محرک رشد بر مقدار پروتئین دانه گندم

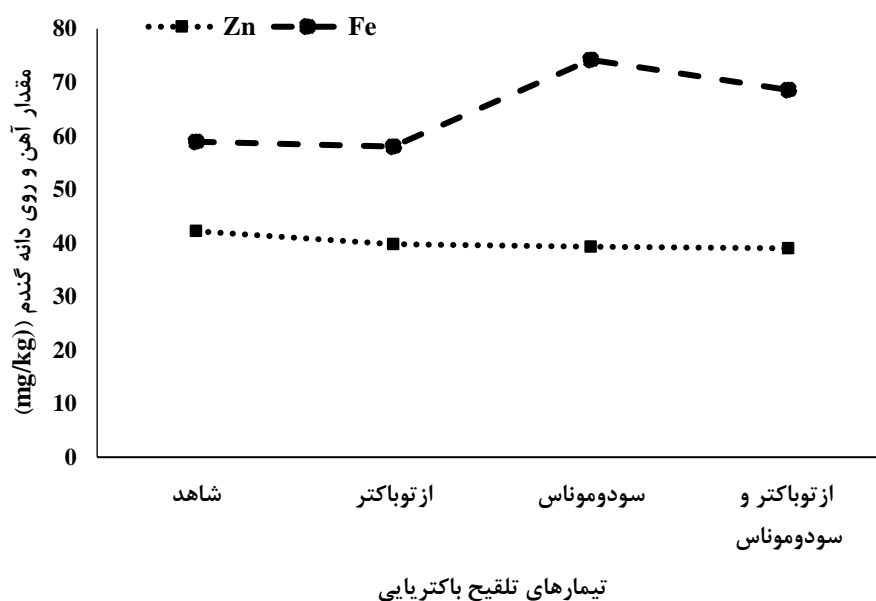
آهن و روی دانه گندم

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس مقدار آهن و روی دانه گندم تحت اثر کودهای فسفات و باکتری‌های محرک رشد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود با افزایش سطح کود فسفات مقدار روی در دانه گندم

کاهش می‌باید که می‌تواند به دلیل کاهش قابلیت جذب روی توسط ریشه‌های گیاه در نتیجه افزایش مقدار فسفر خاک باشد. همچنین افزایش مشاهده شده در مقدار آهن دانه روی در نتیجه افزایش مقدار فسفر خاک می‌تواند ناشی از افزایش رشد گیاه بواسطه مصرف کود و در نتیجه جذب بیشتر آهن باشد. همچنین براساس شکل (۷) تلقیح بذر در کل باعث افزایش مقدار آهن و روی دانه گردیده است. اما با توجه به توانایی سودموناتس‌ها در تولید سیدروفور و لذا افزایش مقدار آهن در خاک قابلیت جذب آهن توسط ریشه گیاه افزایش یافته و مقدار آن در دانه گیاه نیز بالاتر رفته است. افزایش تجمع عناصر میکرو در اندام‌های هوایی بیانگر افزایش انتقال آن از ریشه به بخش هوایی گیاه است. برخی مواد آلی با کمپلکس کردن و غیرمتحرک کردن فلزات، نقش بسیار مهمی در تحمل به فلزات سنگین در گیاهان بازی می‌کند. این ویژگی در حضور میکروارگانیسیم‌های محرک رشد افزایش یافته است (Rajaei et al., 2007). باکتری‌های محرک رشد توانایی تولید سیدروفور و افزایش سطح آهن را در گیاه دارند. این نتایج با نتایج Rashidi et al. (2018) مطابقت دارد.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف کود فسفات بر مقدار آهن و روی دانه گندم



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح خاک با باکتری‌های محرک رشد بر مقدار آهن و روی دانه گندم

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده در این تحقیق بیانگر نقش مفید و موثر کودهای زیستی در افزایش رشد و عملکرد گندم می باشد. اگر چه استفاده از کودهای شیمیایی در تغذیه غلات بسیار مهم است، اما با توجه به مصرف بی‌رویه و اثرات تخریبی آنها بر خاک‌های زراعی نیاز به اصلاح مقدار و زمان آنها ضروری است. استفاده از کودهای زیستی به عنوان یک راه حل بسیار مناسب می‌تواند در کاهش مصرف کودهای شیمیایی موثر باشد. نتایج نشان داد که تمامی تیمارهای کودی مورد استفاده باعث افزایش عملکرد گندم نسبت به شرایط عدم استفاده از کود شدند و از بین این تیمارها، تیمار تلقیح کود زیستی ازتوباکتر و سودموناس همراه با ۱۰۰ درصد نیاز کود شیمیایی اوره بیشترین تأثیر را در افزایش صفات مورد اندازه‌گیری این گیاه داشت. اگرچه با افزایش سطوح کود شیمیایی نیز صفات مورد مطالعه افزایش یافت ولی زمانی که از کودهای زیستی همراه با کود شیمیایی استفاده شد، افزایش معنی‌داری در نتایج صفات مورد مطالعه بدست آمد. همچنین با توجه به مشکلات زیست محیطی و انرژی بالای تولید کودهای شیمیایی استفاده از کودهای زیستی از جمله ازتوباکتر و سودموناس می‌تواند در طولانی مدت بسیار موثر واقع شود. هرچند استفاده از کودهای زیستی به صورت مصرف خاکی نسبت به کودهای شیمیایی هزینه بیشتری را تحمیل می‌کنند، ولی به دلیل اثرات بلند مدتی که بر بهبود ویژگی‌های خاک، تأمین عناصر غذایی کم مصرف و پرمصرف، حفظ و بهبود شرایط زیستی خاک دارد، می‌تواند باعث کاهش مصرف و افزایش کارایی موثر کودهای شیمیایی، کاهش آلودگی محیط زیست و در نهایت کمک به حفظ سلامت انسان و دام نماید.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Akbari, P., Ghalavand, A. and Modarres sanavi, S.A.M. (2009). Effects of different nutrition systems and plant growth promoting bacteria on phenolgy, yield and yield components of sunflower. *Agronim plants production electronic journal*, 2(3), 119-134. (In Persian).
- Anonymous. (2022). Annual Agricultural Statistics. Ministry of Jihad-e-Agricultural of Iran. "WWW.maj.ir".
- Arzanesh, M.H., Alikhani, H.A., Khavazi, K., Rahimian, H.A. and Miransari, M. (2010). Wheat (*Triticumaestivum L.*) growth enhancement by *Azospirillum sp.* Under drought stress. *World Journal of Biotechnology*, 26, 101-109.
- Azarmi Atajan, F., Hammami, H., and Yaghoubzadeh, M. (2019). Effect of application of plant growth promoting microorganisms and phosphate fertilizer on yield and yield components of wheat and water use efficiency in irrigation water levels. *Journal of Crop Production*. 12, 1-24.
- water levels. *J. Crop Prod.* 12, 1-24. doi: 10.22069/ejcp.2020.17166.2268
- Bakhshaei, S., Rezvani Moghadam, P. and Goldani, M. (2014). Effect of Nitroxin biofertilizer and different levels of nitrogenous chemical fertilizers on yield and yield components of wheat. *Iranian agronomic researches journal*, 12 (3), 360-368. (In Persian).
- Baruach, I.C. and Athakur, H.B. (1998). Handbook of soil analysis. Xia-Quan publishing house PVT Ltd, New Delhi, India, Pp: 11-62.
- Boltz, D.F. and Howel, J.A. (1978). Colorimetric Determination of non-metals. *John whily and sons; New York*, 197-202.
- Chang, C.H. and Yang, S.S. (2012). Thermo-tolerant phosphate solubilizing microbe's formulti-functional biofertilizer preparation. *Bioresource Technology*, 100, 1648-1658.
- Cottenie, A. (1980). Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. *FAO Soils Bulletin*, 38, 70-73.
- Edalatjo, R., Mirzaei Heydari, M. and Maleki, A. (2017). The effect of phosphorus solubilizing bacteria on spring and autumn chickpea yield and yield components under supplemental irrigation condition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science (BJAS)*, 4(22), pp.100-114.
- Ehteshami, M., Agha Alikhani, M., Chayechi, M.R. and Khavazi, K. (2007). Effect of phosphate solubilizing microorganisms on qualitative and quantitative characteristics of corn under conditions of dehydration stress. *2nded National Conference on Ecological Agriculture in Iran*. Pp, 123. (In Persian).
- Emami, A. (1996). Plant analysis methods. Technical press No. 982. 1st volume, *soil and water research institute*.
- Emami, T., Mirzaei Heydari, M., Maleki, A. and Bazgir, M. (2019). Effect of native growth promoting bacteria



- and commercial biofertilizers on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare*) under salt stress conditions. *Journal of Cellular and Molecular Biology*, 65(6), 22-27.
- Esitken, A., Yildiz, H., Ercisli, E.S., Donmez, M.F., Turan, M. and Gunes, A. (2013). Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124, 62-66.
- Esmailpour, A., Hassanzadehdelouei, M. and Madani, A. (2013). Impact of Livestock Manure, Nitrogen and Biofertilizer (Azotobacter) on Yield and Yield Components Wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Cercetari agronomice in Moldova*, 46(2), 5-15.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis in methods of soil analysis. *Part 1: Physical and Mineralogical methods*. 2nd Ed. Klute. *Agronomy American Society of Agronomy*. WI. Pp: 383-412.
- Ghobady, M., Hahanbin, S., Owliaie, H.R., Motalebifard, R. and Parvizi, K. (2012). The effect of phosphorus bio-fertilizers on yield and phosphorus uptake in potato. *Water and Soil Science*, 23(2), 125-138. (In Persian)
- Gupta, P.K. (2000). Soil, plant, water and fertilizer analysis. *Agrobios Pub. Bikaner, India*.
- Hosseini, S.M., Taslimi, A., Karami, Y.A. and Dastfal, M. (2020). The effect of nitrogen biofertilizers on yield and yield components of two wheat cultivars (Chamran and Shiroodi). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(8), 1927-1936. (In Persian)
- Jahanshahi, H., Ajam Noruzi, H., DADASHI, M., Rezaii, M., mosanaiey, H. (2021). 'Effect of different sources of biological and chemical fertilizers morphological and functional traits of *Triticum aestivum* L.', *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, (), pp.
- Kader, M.K., Mmian, H. and Hoyue, M.S. (2002). Effects of Azotobacter inoculants on the yield and nitrogen uptake by wheat. *Journal of Biological Sciences*, 2(4), 250 –261.
- Kapulnik, Y Okon, Y Okon and Henis, Y. (2011). Changes in root morphology of wheat caused by *Azospinillum* inoculation. *Canadian Journal of Microbiology*. 31(10):881-887.
- Katiyar, N.K., Ranawat, S., Pathak, R.K. and Kumar, A. (2011). Effect of *Azotobacter* and nitrogen levels on yield and quality of wheat. *Annals of Plant and Soil Research*, 13(2), 152- 155.
- Kumar, B. L. and Gopal, D. S. (2015). Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. *3 Biotech*, 5(6), 867-876.
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C. and Sohrabi, E. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of crop science*, 4(8), 580-585.
- Meena, M.K., Gupta, S. and Datta, S. (2016). Antifungal potential of PGPR, their growth promoting activity on seed germination and seedling growth of winter wheat and genetic variabilities among bacterial isolates. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(1), 235-243.
- Mirzaei-Heydari, (2021). Evaluating the effects of mycorrhizal fungi on growth and yield of winter and spring chickpea (*Cicer arietinum* L.) under conditions of supplemental irrigation in Ilam. *Crop Physiology Journal*. 50 (13), 1–23. (In Persian)
- Mirzaei-Heydari, M., Brook, R.M. & Jones, D.L., (2019). The Role of Phosphorus Sources on Root Diameter, Root Length and Root Dry Matter of Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Nutrition*. 42 (1), 1–15.
- Mirzakarimi, N., Mirzaei Heydari, M. and Rostaminia, M. (2020). The effect of different fertilization systems (chemical, biological and combinatory) on different characteristics of winter barley. *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(38), 103-117. (In Persian)
- Mostajeran A., Amu Aghaei, R. and Emtiazi G. (2005). Effect of azosprillium and acidity and alkalinity of irrigation water on grain yield and protein content of wheat cultivars. *Iranian journal of biology*, 18 (3), 248-260. (In Persian)
- Najafi Vafa Z, Sohrabi Y, Mirzaghaderi G, Heidari G. (2022). Soil Microorganisms and Seaweed Application with Supplementary Irrigation Improved Physiological Traits and Yield of Two Dryland Wheat Cultivars. *Frontiers in Plant Science*. PMID: PMC9198557.
- Orhan, E., Esitken, A., Ercisli, S., Turan, M. and Sahin, F. (2006). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Scientific Horticulture*, 111, 38– 43.
- Page, A.L. (1982). *Methods of Soil Analysis*. Agronomi 9, ASA, SSSA, Madison, Wiscosin, USA.
- Rajaei, S., Alikhani, H.A. and Raeisi, F. (2007). Effect of plant growth promoting potential of native strains of azotobacter chroococum on growth, yield and nutrients uptake of wheat. *Techniques and science journal*

- of agriculture and natural resources*, 11(41), 285-296. (In Persian)
- Rajabi G. 2009. Insect Ecology (according to Iran conditions). Ministry of Agriculture Press. (In Persian)
- Rashidi, M., Abbasi, N. and Zarea, M.R. (2018). Effect of phosphorus bio-fertilizers and chemical on element accumulations, chlorophyll content, seed yield and root growth of three local Mung bean (*Vigna radiata* L.) Populations. *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(4), 631-650. (In Persian)
- Seyedi, M., Mojaddam, M., Babaei Nejad, T. and Derogar, N. (2018). Study of the chemicals and biological interaction effects on quantitative and qualitative characteristics of some bread wheat cultivars in Shoushtar climatic. *Journal of Plant Production Science*, 8(1), 1-11. (In Persian).
- USDA. (2019). World agricultural production. Department of Agriculture Foreign Agricultural Service Office of Global Analysis. 30 pp.
- Vejdani Aram, S., Ahmadvand, G. and Hajinia, S. (2018). The effect of biological and chemical phosphorus fertilizers on radiation use efficiency, P concentration and yield of wheat cultivar (Pishgam). *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(2), 171-190. (In Persian)
- Walkley, A. and Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 34, 29-38.
- Yasari, E., Mozafari, S., Ghasemi Chepi, O., Jafarzadeh Zoghalcahli, H. and Shafiee, E. (2015). Effect of phosphate solubilization bacteria and different levels of mineral phosphorous on growth and seed yield of soybean cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), 693-703. (In Persian)
- Yousefipor, M., Lack, Sh. and Payandeh, Kh. (2019). Evaluation effect of combine Application of biological and chemical phosphorus fertilizers and micronutrients on seed yield and morpho-physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Production Science*, 8(2), 107-119. (In Persian)
- Yu, X., Cheng, J. and Wong, M.H. (2005). Earthworm-mycorrhiza interaction on Cd uptake and growth of ryegrass. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 195-201.