



## تأثیر ریزجانداران افزاینده رشد بر برخی صفات رویشی و عملکرد دانه برنج در مقادیر مختلف کود پتاسیم

زهرا گیلانی<sup>۱</sup>، همت‌اله پیردشتی<sup>۲</sup> و \*اسماعیل بخشنده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

<sup>۲</sup>دانشیار گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

<sup>۳</sup>استادیار پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۱۳

### چکیده

**سابقه و هدف:** افزایش و پایداری تولید برنج یکی از اهداف تولید این محصول در کشور می‌باشد که برای دستیابی به این هدف و بر اساس اصول کشاورزی پایدار رعایت نکات به‌زراعی از جمله استفاده مناسب و بهینه از کودهای شیمیایی و یا کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان جایگزین و یا مکمل مناسب ضروری می‌باشد. همچنین، بهره‌گیری از نهاده‌های تجدیدپذیر مانند ریزجانداران افزاینده رشد (با توانایی تثبیت نیتروژن اتمسفری و محلول کردن ترکیبات نامحلول مانند فسفر و پتاسیم، تولید هورمون‌های رشد، آنزیم‌ها و اسیدهای آلی) به‌همراه سودمندی‌های اکولوژیکی بالا و آسیب‌های زیست‌محیطی پایین امری لازم است. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات استعمال ریزجانداران افزاینده رشد بر بهبود برخی صفات رویشی و عملکرد دانه برنج (رقم 'طارم محلی') در مقادیر مختلف کود سولفات پتاسیم اجرا شد.

**مواد و روش‌ها:** آزمایش در یکی از مزارع واقع در شهرستان جویبار از استان مازندران به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح کود سولفات پتاسیم (۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان کرت اصلی و چهار سطح تلقیح ریشه گیاهچه برنج (شاهد، تلقیح نشاء تنها با باکتری *Pantoea ananatis*، تلقیح نشاء تنها با قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* و تلقیح نشاء با قارچ و باکتری به‌صورت ترکیبی (به نسبت ۵۰:۵۰)) به‌عنوان کرت فرعی بودند. بر اساس نتایج آزمون خاک، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات‌تریپل و تیمارهای مختلف کود سولفات پتاسیم قبل از نشاکاری و نیز ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در دو مرحله نشاکاری و خوشه‌دهی به زمین اضافه شد. در مرحله گرده‌افشانی صفات رویشی مانند ارتفاع بوته، تعداد کل برگ در کپه، شاخص سطح برگ، تعداد کل پنجه در کپه و روز تا مرحله گرده‌افشانی اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه نیز در زمان رسیدگی برداشت با حذف اثر حاشیه‌ای در مساحتی معادل یک مترمربع ثبت گردید.

\*مسئول مکاتبه: e.bakhshandeh@sanru.ac.ir

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سطوح مختلف کود پتاسیم، تیمارهای تلقیح و اثر متقابل بین آن‌ها در تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. با افزایش مصرف کود پتاسیم از صفر تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، ارتفاع بوته از ۱۴۲/۱ تا ۱۵۰ سانتی‌متر (۶ درصد)، تعداد کل پنجه در کپه از ۹/۲ تا ۱۱ عدد (۲۰/۱ درصد)، تعداد کل برگ در کپه از ۶۴/۲ تا ۶۵/۴ عدد (۲ درصد)، شاخص سطح برگ از ۳/۹ تا ۵/۶ (۴۱/۲ درصد) و عملکرد دانه از ۴۴۸/۸ تا ۵۸۵/۷ گرم در مترمربع (۳۰/۵ درصد) نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار و تعداد روز تا گرده‌افشانی نیز از ۵۷/۶ به ۵۶/۲ روز (۲/۳ درصد) کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) نشان داد. اگرچه با افزایش بیشتر مصرف کود تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار مقادیر در صفات کمی بیشتر بود؛ اما این اختلاف‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار نبودند. علاوه بر این، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۴/۴، ۴/۱ و ۳/۴ درصدی ارتفاع بوته؛ ۸/۷، ۸/۷ و ۲۲/۷ درصدی تعداد کل پنجه در کپه؛ ۲/۴، ۲/۴ و ۴/۴ درصدی تعداد کل برگ در کپه؛ ۱۳/۱، ۱۵/۰ و ۲۷/۲ درصدی شاخص سطح برگ؛ ۱۱/۲ و ۱۹/۴ درصدی عملکرد دانه و کاهش معنی‌دار ۲/۰، ۲/۰ و ۳/۳ درصدی روز تا گرده‌افشانی نسبت به شاهد (بدون تلقیح) شد.

**نتیجه‌گیری:** استفاده ریزجانداران مورد مطالعه به‌ویژه کاربرد ترکیبی آن‌ها (*P. indica* + *P. ananatis*) به‌عنوان بهترین تیمار باعث بهبود تمامی صفات رویشی و عملکرد دانه برنج نسبت به شاهد شد. در زمان کاربرد ترکیبی قارچ و باکتری علاوه بر کاهش مصرف کود پتاسیم در حدود ۵۵ کیلوگرم در هکتار (۴۰ درصد)، عملکرد دانه به مقدار  $79 \pm 1/52$  گرم در مترمربع (۱۸/۶ درصد) نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار یافت. در مجموع، به نظر می‌رسد از این ریزجانداران می‌توان در شرایطی مشابه به صورت ترکیبی در مقادیر کاهش‌یافته کود سولفات پتاسیم استفاده نمود.

#### واژه‌های کلیدی: برنج، ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد، سولفات پتاسیم، *Piriformospora indica*، *Pantoea ananatis*

##### مقدمه

انتقال قند و نشاسته، جذب نیتروژن، سنتز پروتئین و در نهایت رشد و توسعه گیاهان نقش دارد (۷). این عنصر در برنج از طریق افزایش اندازه و وزن دانه، مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، بیماری‌ها، استحکام ساقه و همچنین کاهش ورس (خوابیدگی) نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد و افزایش عملکرد ایفا می‌کند (۳۰). به‌طوری‌که، اهمیت پتاسیم در مزارع برنج برابر با عنصر نیتروژن و بسیار فراتر از عنصر فسفر می‌باشد (۲۶).

در چند دهه اخیر، بسیاری از پژوهشگران در سراسر دنیا برای دستیابی به کشاورزی پایدار، کاهش بروز مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی استفاده از کودهای

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از اصلی‌ترین منبع تأمین نیاز غذایی میلیون‌ها نفر در جهان به شمار می‌رود. سطح زیرکشت این گیاه در دنیا حدود ۱۶۴ میلیون هکتار و در ایران ۵۹۰ هزار هکتار با تولید سالانه ۲/۶ میلیون تن شلتوک می‌باشد (۱۹). هفتاد و پنج درصد از اراضی زیرکشت برنج در استان‌های شمالی کشور (مازندران، گیلان و گلستان) قرار دارد که حدود ۸۰ درصد برنج کشور را تولید می‌نمایند (۱۴). پتاسیم بعد از نیتروژن و فسفر، از جمله مهم‌ترین عناصر پرمصرف بوده که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند حفظ تورژسانس سلول، افزایش فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها، کمک به

(L)، کاربرد باکتری *P. fluorescens* به ترتیب موجب افزایش ۴۶، ۲۲، ۱۱۴، ۵۳، ۲۲ و ۷۴ درصدی عملکرد دانه، وزن تر بوته، مقدار آهن، روی، کلروفیل و فسفر نسبت به شاهد شد (۳۳). استفاده هم‌زمان *Pantoea agglomerans* و *Pseudomonas putida* نیز با بهبود جذب فسفر و ترشح برخی ترکیبات افزایش دهنده رشد موجب افزایش عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) شد (۲۵).

کاربرد قارچ *P. indica* نیز باعث تسریع ظهور سنبله، افزایش تعداد پنجه و در نهایت عملکرد گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) شد (۱۴). تلقیح ریشه گیاهچه برنج با *P. indica* سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی (۴۷ درصد) و ریشه (۶۳ درصد) نسبت به شاهد گردید (۲۰). در آزمایشی دیگر، کاربرد *P. indica* موجب افزایش وزن ساقه، تعداد پنجه و دانه در خوشه برنج به ترتیب ۱۰/۹، ۱۹/۱ و ۷/۲ درصد نسبت به شاهد شد (۶). بخشنده و همکاران (۲۰۱۵) کاهش ۶۷ درصدی مصرف کود سوپرفسفات‌تریپل و افزایش ۱۷/۷، ۱۰/۱ و ۲۹/۶ درصدی عملکرد دانه برنج (به ترتیب در ارقام طارم هاشمی، طارم محلی و شیرودی) را در زمان کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کود شیمیایی گزارش نمودند (۱۴). در نتیجه، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر جداگانه و توأم باکتری *P. ananatis* و قارچ *P. indica* بر بهبود برخی صفات رویشی و عملکرد دانه برنج رقم 'طارم محلی' در سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تعیین مقدار بهینه مصرف پتاسیم جهت دستیابی به حداکثر مقدار این صفات طراحی و اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش در شرایط مزرعه زارعین واقع در روستای لاریم شهرستان جویبار از استان مازندران با

زیستی را آغاز نمودند (۲۹). استفاده از کودهای زیستی به تنهایی و یا به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی نه تنها موجب بهبود رشد گیاهان زراعی شده بلکه باعث پایداری تولید، حداکثر بهره‌وری زراعی، کاهش خطرات زیست‌محیطی شده و از تخریب خاک نیز جلوگیری می‌نماید (۲۴). کود زیستی به مجموعه از ریزجانداران (باکتریایی و یا قارچی) اطلاق می‌گردد که از طریق سازوکارهای مختلف مانند تثبیت نیتروژن اتمسفری و محلول کردن ترکیبات نامحلول مانند فسفر و پتاسیم در خاک، تولید تنظیم‌کننده‌های رشد (مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین)، ترشح برخی از آنزیم‌ها مانند فیتاز و فسفاتاز و یا تولید اسیدهای آلی بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی و همچنین ویژگی‌های خاک تأثیر مثبت می‌گذارند (۱، ۴، ۱۳ و ۲۶).

باکتری *Pantoea ananatis* و قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* از جمله ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد محسوب می‌شوند که از آن‌ها می‌توان در تولید کود زیستی بهره برد (۱۳ و ۳۶). احتشامی و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش عملکرد دانه برنج ناشی از افزایش تعداد پنجه بارور را در زمان تلقیح بذر با باکتری *Pseudomonas fluorescens* گزارش کردند (۱۸). علاوه بر این، این باکتری از طریق افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر می‌تواند منجر به افزایش وزن خشک و عملکرد دانه برنج گردد (۳). در پژوهشی مشابه، تلقیح گیاه برنج (رقم 'طارم محلی') با باکتری *Enterobacter* sp. در شرایط گلدانی باعث افزایش وزن خشک ریشه (۲۵ درصد)، ساقه (۱۷/۶ درصد) و برگ (۱۳/۳ درصد) نسبت به شاهد گردید (۱۴). نشاءهای برنج تلقیح‌شده با باکتری *brasilense* *Azospirillum* نیز رشد بهتری نسبت به نشاءهای بدون تلقیح به‌علت گسترش بیشتر ریشه‌ها و در نتیجه افزایش جذب مواد غذایی داشتند (۱۵). در ذرت (*Zea mays*)

باکتری افزاینده رشد *Pantoea ananatis* (هوازی و بی‌هوازی اختیاری؛ جداسازی شده از مزارع برنج استان مازندران با توانایی حل‌کنندگی فسفات نامحلول (۱۷۲ میکروگرم در میلی‌لیتر از منبع تری‌کلسیم فسفات بعد از پنج روز)، پتاسیم نامحلول (۳۸/۹ میکروگرم در میلی‌لیتر از منبع میکا بعد از بیست و پنج روز) و تولید ایندول استیک اسید (۸ میکروگرم در میلی‌لیتر بعد از سه روز)) (۱۰ و ۱۲) و قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* (رجوع به مقاله وارما و همکاران (۲۰۱۲) برای مشاهده ویژگی‌های این قارچ) از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان تهیه شدند.

عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه شرقی با ارتفاع ۲۵/۷ متر از سطح آب‌های آزاد به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. بر اساس نتایج آزمون خاک (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) ارائه شده در جدول (۱)، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات‌تریپل و تیمارهای مختلف کود سولفات پتاسیم قبل از نشاکاری و نیز ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در دو مرحله نشاکاری (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و خوشه‌دهی (۵۰ کیلوگرم در هکتار) به زمین اضافه شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری).

Table 1. Physico-chemical properties of the studied soil (at a depth of 0 – 30 cm).

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته ته	کربن آلی (درصد)	فسفر در دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم)	پتاسیم در دسترس (میلی‌گرم در کیلوگرم)	شن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	بافت خاک
Electrical conductivity (ds.m <sup>-1</sup> )	pH	Organic carbon (%)	Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	Available K (mg kg <sup>-1</sup> )	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	Soil texture
3.15	7.75	1.02	14.2	92	73	20	7	لومی شنی Sandy loam
			11	170				حد بحرانی Critical value

بیست گرم گلوکز، دو گرم پیتون، یک گرم عصاره مخمر، یک گرم کازامین اسید، یک میلی‌لیتر محلول ویتامین، یک میلی‌لیتر کلرید کلسیم ۰/۱ مولار، یک میلی‌لیتر کلرید آهن ۰/۱ مولار، ۵۰ میلی‌لیتر محلول عناصر پرمصرف (حاوی ۱۲۰ گرم نترات سدیم، ۱۰/۴ گرم کلرید پتاسیم، ۱۰/۴ گرم سولفات منیزیم، ۳۰/۴ گرم فسفات پتاسیم به ازای هر لیتر محلول) و ۲/۵ میلی‌لیتر محلول عناصر کم‌مصرف (حاوی ۲۲ گرم سولفات روی، ۱۱ گرم اسید بوریک، ۵ گرم کلرید منگنز، ۵ گرم سولفات آهن، ۱/۶ گرم کلرید کبالت، ۱/۶ کلرید مس، ۵۰ گرم دی‌سدیم اتیلن

تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح کود سولفات پتاسیم (۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان کرت اصلی و چهار سطح تلقیح ریشه گیاهچه برنج (شاهد، تلقیح نشاء تنها با باکتری، تلقیح نشاء تنها با قارچ و تلقیح نشاء با باکتری و قارچ به صورت ترکیبی) به‌عنوان کرت فرعی بودند. برای کشت باکتری *P. ananatis* از محیط کشت نوترینت براث (حاوی یک گرم عصاره گوشت، دو گرم عصاره مخمر، پنج گرم پیتون و پنج گرم کلرید سدیم به ازای هر لیتر محیط کشت) (۱۴) و برای کشت قارچ *P. indica* از محیط کشت کفر (حاوی

مرحله گرده‌افشانی برای آن کرت ثبت گردید (۱۱). جهت تعیین سطح برگ از معادله پیشنهاد شده توسط بخشنده و همکاران (۲۰۱۷) به شکل زیر استفاده گردید (۹):

(۱)

وزن خشک برگ سبزر در بوته  $\times 254/63$  = سطح برگ در بوته

شاخص سطح برگ نیز از تقسیم سطح برگ هر کپه به سطح سایه‌انداز آن محاسبه شد (۹). در مرحله رسیدگی کامل (۸۵ روز پس از کاشت)، پس از حذف اثر حاشیه‌ایی یک مترمربع از هر کرت به روش تخریبی برداشت و عملکرد دانه واقعی اندازه‌گیری گردید. به منظور توصیف روند تغییرات صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تعیین مقدار بهینه مصرف کود جهت دستیابی به حداکثر مقدار صفات در زمان کاربرد ریزجانداران افزایش یافته رشد از یک معادله دو تکه‌ای به شکل زیر استفاده شد (۸):

$$y = a + bx \quad \text{اگر } x \leq x_0 \quad (2)$$

$$y = a + bx_0 \quad \text{اگر } x > x_0$$

که در آن  $a$ ، عرض از مبدأ؛  $b$ ، شیب خط (افزایش/کاهش صفت) به ازای افزایش هر کیلوگرم مصرف کود پتاسیم و  $x_0$ ، نقطه چرخش یا مقدار مصرف کود پتاسیم برای رسیدن به حداکثر/حداقل مقدار هر یک از صفات می‌باشند. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و شکل‌ها به وسیله نرم‌افزار SigmaPlot نسخه ۱۰ ترسیم شدند. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد صورت گرفت.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر صفات مورد بررسی در گیاه برنج نشان داد

دی‌آمین تترا استات دی‌هیدرات به ازای هر لیتر محلول) برای یک لیتر محیط کشت استفاده گردید (۳۵). گیاهچه‌های برنج در زمان تلقیح ۳۰ روز سن و به‌طور میانگین ۵-۴ برگ داشتند. جهت تلقیح از سوسپانسیون باکتری و قارچ به‌ترتیب با جمعیت  $10^6$  و  $10^8$  سلول زنده در هر میلی‌لیتر به مدت ۱۲ ساعت و به روش غوطه‌وری ریشه (ریشه گیاهچه‌های برنج به‌طور کامل در داخل سوسپانسیون‌ها موردنظر قرار گرفتند) استفاده گردید. برای جلوگیری از ایجاد خطا در تیمار شاهد تنها از محیط کشت بدون باکتری و یا قارچ جهت تلقیح استفاده شد. بعد از تلقیح، نشاءها از محلول خارج و نشاءکاری بلافاصله در زمین اصلی انجام شد. هر کپه نشاء شامل چهار گیاهچه بود که با فاصله  $20 \times 20$  سانتی‌متر کشت شده بودند. هر کرت آزمایشی شش متر طول،  $2/5$  متر عرض و شامل ۱۲ خط کشت بود. برای تسهیل در آبیاری فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طول دوره آزمایش کلیه عملیات زراعی از قبیل آبیاری (با ارتفاع آب آبیاری حدود ۳ تا ۵ سانتی‌متر تا دو هفته قبل از برداشت)، مبارزه با علف‌های هرز (شیمیایی با استفاده از بوتاکلر به‌همراه دو مرتبه وجین دستی)، آفات (استفاده از تریکوکارت برای کرم ساقه‌خوار و ملاتیون برای کرم برگ‌خوار) و بیماری‌ها (تری‌سیکل‌ازول برای مبارزه با بلاست) برای همه کرت به‌صورت یکنواخت و در زمان ضروری بر اساس دستورالعمل فنی موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. در مرحله گرده‌افشانی (حدود ۶۰ روز پس از نشاءکاری) صفاتی همچون ارتفاع بوته (سانتی‌متر، با استفاده از خط‌کش)، تعداد کل برگ و پنجه در کپه اندازه‌گیری و تاریخ وقوع مرحله گرده‌افشانی (از طریق بازدید روزانه) ثبت شد (زمانی که ۵۰ درصد هر کرت به مرحله گرده‌افشانی رسید، آن روز به‌عنوان

بوته نسبت به شاهد (بدون تلقیح، ۱۴۳/۶ سانتی‌متر) گردید، البته اختلافات بین تیمارهای مختلف تلقیح از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). طبق نتایج اگرچه سرعت افزایش ارتفاع بوته در تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ بیشتر از تیمارهای دیگر بود؛ اما دوره افزایش ارتفاع بوته در تیمار تلقیح تنها با قارچ ۱۵ روز بیشتر از تلقیح ترکیبی می‌باشد که نتیجه آن وقوع حداکثر ارتفاع بوته در زمان حضور تنها قارچ بود (جدول ۳). اصغری و همکاران (۲۰۱۳) و امین‌دلدار و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش ۲۵/۱ و ۷/۴ درصدی ارتفاع بوته برنج را در زمان کاربرد باکتری *P. fluorescens* نسبت به شاهد گزارش کردند (۳ و ۵). در آزمایشی دیگر، بورد و همکاران (۲۰۰۰) اظهار داشتند که باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد می‌توانند ارتفاع گیاه را از طریق تولید فیتوهورمون، افزایش فراهمی و جذب مواد غذایی، کاهش سمیت فلزات سنگین در گیاهان، جلوگیری از عوامل بیماری‌زا و القا مقاومت سیستماتیک با عوامل بیماری‌زا افزایش دهند (۱۶). بخشنده و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که ارتفاع گیاه برنج با تلقیح جداگانه باکتری‌های *Enterobacter P. ananatis* و *Rahnella aquatilis* به ترتیب ۱۰/۷۱، ۷/۸ و ۴/۱ درصد بیشتر نسبت به شاهد افزایش یافت (۱۰). همچنین این محققین افزایش رشد گیاهچه برنج در زمان حضور این باکتری را به توانایی آن در آزادسازی پتاسیم و فسفر نامحلول و تولید هورمون ایندول استیک و جذب بهتر عناصر غذایی توسط این ریزجانداران نسبت دادند.

که اثر ساده کود پتاسیم بر صفات ارتفاع بوته، تعداد کل پنجه در کپه، تعداد کل برگ در کپه، تعداد روز تا رسیدن به مرحله گرده‌افشانی، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه معنی‌دار بود. همچنین، اثر ساده تلقیح با ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد نیز بر تمامی صفات فوق از لحاظ آماری معنی‌دار بود. نتایج برهم‌کنش کود پتاسیم و تلقیح با ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد نیز بر تمامی صفات اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲).

**ارتفاع بوته:** دامنه تغییرات ارتفاع بوته از ۱۴۰/۴ تا ۱۵۴/۵ سانتی‌متر متغیر بود. مصرف تنها کود پتاسیم و یا حضور ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد و برهم‌کنش بین تیمارها نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). جهت توصیف روند تغییرات ارتفاع بوته در مقابل مقادیر مختلف کود پتاسیم از یک معادله دوتکه‌ای (معادله ۲) استفاده گردید (شکل ۱-الف). نتایج حاکی از آن بود که معادله به خوبی و با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۸ توانست این تغییرات را توصیف نماید (جدول ۲). به‌طورکلی، با افزایش مصرف کود پتاسیم از شاهد (صفر کیلوگرم در هکتار) تا زمان مصرف ۱۱۰/۷، ۱۳۴/۶، ۱۴۲/۰ و ۱۴۹/۲ کیلوگرم در هکتار، ارتفاع بوته به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود با سرعتی معادل ۰/۰۲۵۰، ۰/۰۸۰۶، ۰/۰۷۷۸ و ۰/۰۷۹۷ سانتی‌متر به ترتیب در تیمارهای شاهد، تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ، تلقیح تنها با باکتری و تلقیح تنها با قارچ افزایش یافت، سپس مقدار آن تا ۱۸۰ کیلوگرم کود در هکتار ثابت باقی ماند (شکل ۱-الف).

براساس نتیجه تجزیه رگرسیون حضور تنها قارچ (۱۵۴/۳ سانتی‌متر) باعث افزایش ۷/۴ درصدی ارتفاع

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در برنج (رقم نظام محلی) تحت تأثیر سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تلقیح با ریزجانداران *Pantoea ananatis* و *Piriformospora indica*.  
 Table 2. The results of analysis of variance and means comparison on the studied traits in rice (cv. 'Tarom Mahalli') under different levels of potassium sulfate fertilizer (PSF, kg ha<sup>-1</sup>) and inoculation with various plant growth promoting microorganisms (PGPM, *Pantoea ananatis* and *Piriformospora indica*).

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	تعداد کل پنجه در کپه Total number of tillers hill <sup>-1</sup>	تعداد کل برگ در کپه Total leaves number hill <sup>-1</sup>	مرحله گرده افشانی Anthesis stage (DAP)	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Grain yield (gr m <sup>-2</sup> )
آماره‌های توصیفی Descriptive statistical							
تعداد مشاهده Observation	48	48	48	48	48	48	48
حداقل Minimum		140.4	8.00	61.7	55.0	3.68	427.5
حداکثر Maximum		154.5	13.0	68.2	58.0	6.54	634.5
میانگین Average		147.1	10.4	65.2	56.8	4.92	537.1
انحراف معیار Standard deviation		0.68	0.18	0.20	0.14	0.13	9.92
میانگین مربعات Means square							
بلوک Block	2	0.25	0.89	0.62	0.14	0.014	324
کود پتاسیم PSF	3	205.72**	9.47*	8.09**	3.74*	8.550**	52801.31**
خطای اصلی Main-plot error	6	0.05	1.03	0.37	0.53	0.003	7.87
ریزجانداران افزاینده رشد PGPM	3	104.28**	9.63**	15.77**	7.52**	2.790**	18063.56**
کود پتاسیم × ریزجانداران افزاینده رشد PSF×PGPM	9	11.02**	0.65**	0.36*	0.39*	0.230**	927.18**
خطای فرعی Sub-plot error	24	0.05	0.19	0.32	0.13	0.001	4.50
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.11	4.21	9.38	6.33	11.13	5.23

ادامه جدول ۲  
Continuing Table 2

کود پتاسیم PSF (kg ha <sup>-1</sup> )	مقایسه میانگین ها Means comparison									
	0	60	120	180	142.0 d	9.16 b	64.15 c	57.58 b	3.96 d	359.1 d
		145.3 (+2.2)c	149.8 (+5.48)ab	151.0 (+6.28)a		10.6 (+15.5)a	65.10 (+1.48)b	56.91 (-1.16)ab	4.46 (+12.6)c	418.8 (+16.6)c
						11.0 (+20.1)a	65.40 (+1.94)ab	56.25 (-2.30)ab	5.59 (+4.1)ab	468.6 (+30.5)ab
						11.1 (+20.9)a	66.13 (+3.08)a	56.66 (-1.59)a	5.66 (+42.9)a	472.5 (+31.5)a
LSD		0.236				1.016	0.568	0.730	0.034	10.69
	شاهد Control	142.6 d				9.5 c	63.77 c	57.9 c	4.3 d	389.1 c
	باکتری <i>P. ananatis</i>	148.6 (+4.39)a				10.3 (+8.73)b	65.19 (+2.82)b	56.75 (-2.00)b	4.88 (+12.9)c	432.6 (+11.2)ab
	ریزجاندانان افزایشه رشد PGPM	148.9 (+4.14)b				10.3 (+8.73)b	65.47 (+2.38)b	56.75 (-2.00)b	4.97 (+15.0)b	432.6 (+11.2)ab
	باکتری + فارچ <i>P. ananatis</i> + <i>P. indica</i>	148.0 (+3.37)c				11.6 (+22.7)a	66.44 (+4.35)a	56.00 (-3.29)a	5.57 (+27.3)a	464.7 (+19.4)a
LSD		0.200				0.771	0.515	0.306	0.046	10.89

\*\*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک، پنج درصد و عدم معنی دار به روش آزمون LSD می باشد. DAP و CV به ترتیب ضریب تغییرات و روز پس از نشاءکاری می باشد.  
† Means with the same letter are not significantly different at the probability level of 0.05%. Values in parentheses indicate percent change (positive or negative) in the respective studied traits in comparison with the control condition.

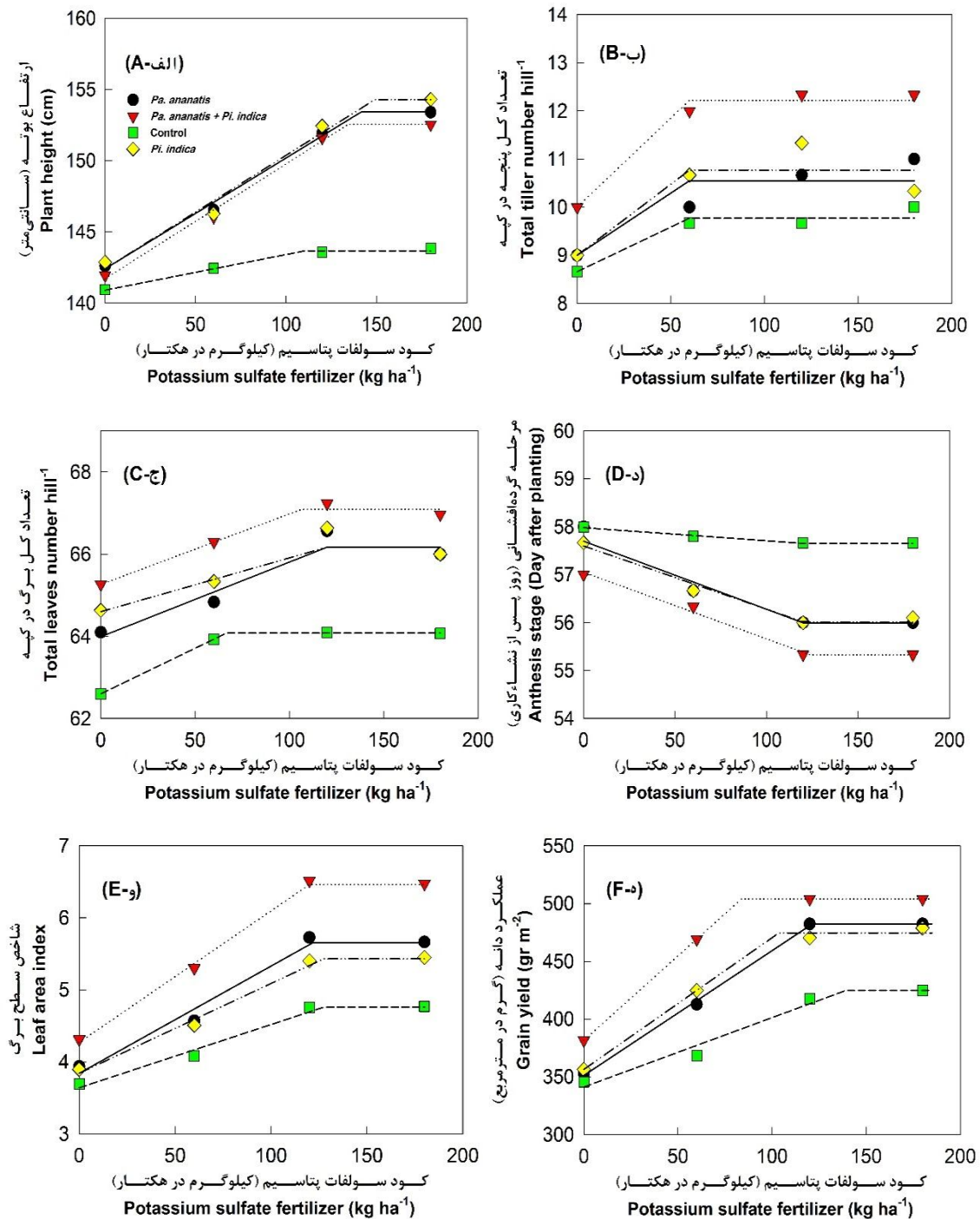
CV is the coefficient of variation and DAP is days after planting.

† Means with the same letter are not significantly different at the probability level of 0.05%. Values in parentheses indicate percent change (positive or negative) in the respective studied traits in comparison with the control condition.



قاسمی میانایی و همکاران (۲۰۱۱) در برنج اظهار داشتند که کمترین تعداد پنجه بارور در کپه متعلق به تیمار شاهد (بدون مصرف کود، ۹/۷ عدد در کپه) بود و با افزایش مصرف کود پتاسیم تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار تعداد پنجه بارور ۱۶/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (۲۱). در آزمایشی دیگر، مصرف کود سولفات پتاسیم تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش ۸/۲۲ درصدی تعداد کل پنجه برنج شد (۲). ابراهیمی چمانی و همکاران (۲۰۱۵) بیشترین تعداد کل پنجه (۲۶/۳ عدد در کپه) را در زمان کاربرد تلفیقی *P. fluorescens* و *P. putida* به همراه مصرف ۱۶۵ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل گزارش نمودند (۱۷). حسین و همکاران (۲۰۱۶) افزایش ۶۴ و ۱۴ درصدی تعداد پنجه در زمان تلقیح بذر گندم به ترتیب با باکتری *P. aurentiaca* و *Bacillus subtilis* به همراه مصرف ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و سوپرفسفات تریپل را نسبت به شاهد گزارش نمودند (۲۳). کاربرد *P. indica* در برنج همچنین موجب افزایش ۱۹/۱ درصدی تعداد پنجه برنج نسبت به شاهد شد (۶). موسوی و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که تلقیح ریشه گیاهچه برنج با *P. indica* موجب افزایش ۵۰ درصدی تعداد کل پنجه نسبت به شاهد گردید (۲۸). در مجموع، علت افزایش تعداد کل پنجه در زمان کاربرد ریزجانداران افزاینده رشد را می‌توان به افزایش حجم ریشه (۱۴) و بهبود جذب عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه (۱) نسبت داد.

**تعداد پنجه کل در کپه:** اثر ساده کود پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد و اثر ساده تیمارهای تلقیح و برهم‌کنش بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد کل پنجه در تیمار تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری (۱۱/۶ عدد در کپه) و کمترین آن نیز در تیمار شاهد (عدم تلقیح، ۹/۵ عدد در کپه) مشاهده شد (جدول ۲). به‌طور مشابه از معادله دو تکه‌ای برای توصیف روند تغییرات تعداد کل پنجه در کپه در سطوح مختلف کود پتاسیم استفاده گردید. ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۸ نشان‌دهنده توصیف خوب این روابط توسط معادله بود (جدول ۳). با افزایش مصرف کود پتاسیم از صفر تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار تعداد کل پنجه در کپه به طور خطی و با سرعتی معادل ۰/۰۳۷۰، ۰/۰۲۹۵، ۰/۰۲۹۶ و ۰/۰۱۸۵ عدد به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود به ترتیب در تیمارهای تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و شاهد افزایش یافت و سپس به بالاترین میزان (به ترتیب ۱۲/۲، ۱۰/۵، ۱۰/۸ و ۹/۸ عدد در کپه) رسید که نشان‌دهنده عدم تأثیر افزایش مقدار کود (بیش از ۶۰ کیلوگرم در هکتار) بر این صفت می‌باشد. به عبارت دیگر، تعداد کل پنجه در تلقیح تنها با باکتری (۸ درصد)، تلقیح تنها با قارچ (۱۰/۲ درصد) و تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری (۲۵/۱ درصد) نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۲ و شکل ۱-ب).



شکل ۱- کمی‌سازی اثر سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم بر صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته (الف)، تعداد پنجه کل در کپه (ب)، تعداد کل برگ در کپه (ج)، وقوع مرحله گرده‌افشانی (روز پس از نیشاءکاری) (د)، شاخص سطح برگ (و) و عملکرد دانه (ه) در زمان کاربرد ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد در برنج (رقم 'طارم محلی').

Figure 1. Modelling of the effect of potassium sulfate fertilizer (PSF) on the studied traits including plant height (A), total number of tillers hill<sup>-1</sup> (B), total leaves number hill<sup>-1</sup> (C), anthesis stage time (D), leaf area index (E) and grain yield (F) in the presence of plant growth promoting micro-organisms in rice (cv. 'Tarom Mahali').

جدول ۳- پارامترهای تخمین زده شده توسط مدل دوتکدامی (معادله ۲) برازش داده شده به صفات مورد مطالعه تحت تأثیر سطوح مختلف کود سولفات پتاسیم و تلفیح با باکتری *Pantoea ananatis* و قارچ *Piriformospora indica*.

صفات Traits	روش تلفیح Inoculation methods	ضرایب مدل Model coefficients		حد اکثر مقدار صفات Maximum values†	ضریب تبیین R <sup>2</sup>
		a ± se	b ± se		
ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	شاهد Control	140.9 ± 0.188	0.0250 ± 0.0044	143.66	0.99
	باکتری <i>P. ananatis</i>	142.4 ± 0.546	0.0778 ± 0.0071	153.44 (+6.80)	0.99
	قارچ <i>P. indica</i>	142.4 ± 1.031	0.0797 ± 0.0133	154.29 (+7.39)	0.98
	باکتری + قارچ <i>P. ananatis</i> + <i>P. indica</i>	141.7 ± 0.546	0.0806 ± 0.0070	152.54 (+6.18)	0.99
	شاهد Control	8.66 ± 0.192	0.0185 ± 0.0037	9.77	0.92
تعداد پنجه در کپه Tillers number hill <sup>-1</sup>	باکتری <i>P. ananatis</i>	9.00 ± 0.509	0.0295 ± 0.0098	10.55 (+7.980)	0.80
	قارچ <i>P. indica</i>	9.00 ± 0.509	0.0296 ± 0.0098	10.77 (+10.23)	0.82
	باکتری + قارچ <i>P. ananatis</i> + <i>P. indica</i>	10.00 ± 0.192	0.0370 ± 0.0037	12.22 (+25.07)	0.98
	شاهد Control	62.60 ± 0.023	0.0222 ± 0.0006	64.08	0.99
تعداد کل برگ در کپه Total leaves number hill <sup>-1</sup>	باکتری <i>P. ananatis</i>	63.99 ± 0.463	0.0059 ± 0.0182	66.17 (+3.26)	0.93
	قارچ <i>P. indica</i>	64.60 ± 0.494	0.0131 ± 0.0110	66.17 (+3.26)	0.90
	باکتری + قارچ <i>P. ananatis</i> + <i>P. indica</i>	65.26 ± 0.188	0.0172 ± 0.0044	67.09 (+4.69)	0.98
	شاهد Control	66.75 ± 15.40			

ادامه جدول ۳  
Continuing Table 3

مرحله گرده‌افشانی Anthesis stage (Days after transplanting)	شاهد Control	57.98 ± 0.018	-0.0027 ± 0.0002	120.0 ± 8.95	57.65	0.99
	باکتری <i>P. ananatis</i>	57.87 ± 0.181	-0.0162 ± 0.0020	120.0 ± 10.2	55.99 (-2.88)	0.97
	قارچ <i>P. indica</i>	57.59 ± 0.114	-0.0132 ± 0.0013	120.0 ± 9.54	56.02 (-2.83)	0.98
	باکتری + قارچ <i>P. ananatis</i> + <i>P. indica</i>	57.05 ± 0.124	-0.0139 ± 0.0016	124.0 ± 13.5	55.33 (-4.03)	0.99
	شاهد Control	3.64 ± 0.107	0.0088 ± 0.0013	127.6 ± 18.72	4.76	0.98
شاخص سطح برگ Leaf area index	باکتری <i>P. ananatis</i>	3.84 ± 0.195	0.0149 ± 0.0025	121.6 ± 19.53	5.65 (+18.69)	0.98
	قارچ <i>P. indica</i>	3.84 ± 0.105	0.0125 ± 0.0013	130.7 ± 12.90	5.47 (+14.91)	0.99
	باکتری + قارچ <i>P. ananatis</i> + <i>P. indica</i>	4.31 ± 0.084	0.0183 ± 0.0010	120.0 ± 6.814	6.50 (+36.55)	0.99
	شاهد Control	341.2 ± 9.83	0.60 ± 0.1271	139.3 ± 26.7	424.7	0.97
	باکتری <i>P. ananatis</i>	351.0 ± 3.57	1.08 ± 0.0462	121.5 ± 4.94	482.4 (+13.58)	0.99
عملکرد دانه Grain yield (g m <sup>-2</sup> )	قارچ <i>P. indica</i>	356.4 ± 5.94	1.14 ± 0.1403	103.7 ± 10.5	474.6 (+11.75)	0.99
	باکتری + قارچ <i>P. ananatis</i> + <i>P. indica</i>	381.6 ± 5.21	1.46 ± 0.0125	83.83 ± 8.34	503.9 (+18.65)	0.99

† اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) هر یک از تیمارها نسبت به شرایط شاهد می‌باشد.

† Values in parentheses indicate percent change (positive or negative) in the respective studied traits in comparison with the control condition.

از طریق تأثیرگذاری بر مسیرهای بیوشیمیایی درگیر در تولید هورمون‌های رشد و یا تشدید جذب عناصر غذایی می‌تواند سبب بهبود رشد و تولید برگ در گیاه میزبان گردد (۳۸). در مجموع، علت افزایش تعداد برگ در کپه را می‌توان به افزایش قابلیت دسترسی و جذب بهتر عنصر پتاسیم و سایر عناصر و یا ترشح برخی ترکیبات افزایش‌دهنده رشد، هورمون‌ها، گسترش بیشتر ریشه، تسهیل در جذب عناصر غذایی، بهبود رشد و نمو گیاه نسبت داد (۱، ۱۰ و ۱۴).

**وقوع مرحله گرده‌افشانی:** وقوع مرحله گرده‌افشانی از ۵۵ تا ۵۸ روز پس از نشاکاری متغیر بود. حضور ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد و مصرف کود پتاسیم به طور معنی‌دار باعث تسریع وقوع مرحله گرده‌افشانی شدند (جدول ۲). با افزایش مصرف کود پتاسیم از صفر تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار، مرحله گرده‌افشانی حدود یک روز (۱/۶ درصد) نسبت به شاهد (بدون مصرف کود) سریع‌تر اتفاق افتاد. تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری به ترتیب ۲، ۲ و ۳/۳ درصد وقوع مرحله گرده‌افشانی را نسبت به شاهد (بدون تلقیح) سرعت بخشیدند. علاوه بر این، مصرف کود پتاسیم از صفر تا حدود ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش خطی سرعت وقوع مرحله گرده‌افشانی معادل ۰/۰۱۳۹، ۰/۰۱۳۲، ۰/۰۱۶۲ و ۰/۰۰۲۷ روز به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود به ترتیب در تیمارهای تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و شاهد شد و سپس مقدار این صفت به حداکثر (به ترتیب ۵۵/۳، ۵۶، ۵۶ و ۵۷/۶ روز پس از نشاکاری) رسید که نشان‌دهنده عدم تأثیر افزایش مقدار کود بر این صفت می‌باشد (جدول ۳ و شکل ۱-د). به طور مشابه، شهسوارپور و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که با مصرف کود سولفات پتاسیم از

**تعداد برگ کل در کپه:** حداکثر و حداقل تعداد کل برگ در کپه از ۶۱/۷ تا ۶۸/۲ عدد متغیر بوده و بیشترین تعداد برگ در کپه نیز در تیمار تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ (۶۶/۴ عدد در کپه) مشاهده شد، البته بین تیمارهای جداگانه قارچ و یا باکتری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). مشابه سایر صفات از یک معادله دو تکه‌ای جهت توصیف روند تغییرات تعداد کل برگ در کپه و کود پتاسیم استفاده شد (جدول ۳). افزایش مصرف کود پتاسیم از صفر تا ۱۰۶/۵، ۱۲۰، ۱۲۰ و ۶۶/۷ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش خطی تعداد برگ در کپه با سرعتی معادل ۰/۰۱۷۲، ۰/۰۰۵۹، ۰/۰۱۳۱ و ۰/۰۲۲۲ عدد به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود به ترتیب در تیمارهای تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و شاهد شد و سپس مقدار این صفت به حداکثر (به ترتیب ۶۷/۱، ۶۶/۲، ۶۶/۲ و ۶۴/۱ عدد در کپه) رسید که نشان‌دهنده عدم تأثیر افزایش مقدار کود بر این صفت می‌باشد. به عبارت دیگر، تعداد کل برگ در کپه ۳/۲۶، ۳/۲۶ و ۴/۶۹ درصد نسبت به شاهد به ترتیب در تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری افزایش یافت (جدول ۳ و شکل ۱-ج). تلقیح گیاه برنج (رقم 'طارم محلی') با باکتری *Enterobacter sp.* در شرایط گلدانی باعث افزایش ۱۰ درصدی تعداد برگ در بوته نسبت به شاهد شد (۱۳). همچنین، حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات در شرایط مزرعه باعث افزایش ۵/۶ تا ۱۶/۴ درصدی تعداد کل برگ در کپه برنج (وابسته به نوع باکتری) نسبت به شاهد گردید (۱۰). شارما و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش تعداد کل برگ در کپه برنج را در زمان تلقیح ریشه برنج با باکتری *P. fluorescens* نسبت به شاهد گزارش کردند (۳۴). قارچ *P. indica*

و *B. subtilis* به همراه مصرف ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و سوپرفسفات تریپل باعث افزایش به ترتیب ۳۵ و ۵۱ درصدی شاخص سطح برگ گردید (۲۲). در نخود محمدی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که شاخص سطح برگ این گیاه در زمان مصرف ۲۵ کیلوگرم کود فسفر به همراه قارچ میکوریزا به میزان ۴۹/۲ درصد بیشتر از شاهد بود (۲۷).

**عملکرد دانه:** دامنه تغییرات عملکرد دانه از ۴۲۷ تا ۶۳۴ گرم در مترمربع متغیر بود. تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ به ترتیب باعث افزایش معنی دار ۱۱/۲، ۱۱/۲ و ۱۹/۴ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (جدول ۲). طبق نتایج، با افزایش مقدار کود پتاسیم از شاهد (عدم مصرف کود) تا زمان مصرف ۸۳/۸، ۱۰۳/۷، ۱۲۱/۵ و ۱۳۹/۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در تیمارهای تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ، تلقیح تنها با قارچ، تلقیح تنها با باکتری و شاهد به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود، عملکرد دانه به ترتیب با سرعت ۱/۴۶، ۱/۱۴، ۱/۰۸ و ۰/۶۰ گرم در مترمربع افزایش یافت و سپس مقدار عملکرد ثابت و حداکثر مقدار باقی ماند (جدول ۳ و شکل ۱-۵). در تمامی سطوح کود پتاسیم، حداکثر و حداقل عملکرد دانه به ترتیب متعلق به تیمار تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری و شاهد بود (شکل ۱-۵). کاربرد تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری علاوه بر کاهش مصرف کود پتاسیم به مقدار ۵۵/۵ کیلوگرم در هکتار (۴۰ درصد)، عملکرد دانه را به میزان  $79 \pm 1/52$  گرم در مترمربع (۱۸/۶ درصد) نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳ و شکل ۱-۵).

مطابق با نتایج این مطالعه، رضایی (۲۰۱۰) کمترین عملکرد دانه برنج را در شرایط بدون مصرف کود پتاسیم (۳۱۴/۳ گرم در مترمربع) و بیشترین مقدار آن را در زمان مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود

صفر تا ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار، زمان وقوع مرحله گرده افشانی حدود ۳/۰۲ درصد نسبت به شاهد زودتر اتفاق افتاد. همچنین، تلقیح ریشه گیاهچه برنج در زمان نشاکاری با باکتری *Enterobacter sp.* موجب کاهش ۰/۷۸ درصدی زمان تا وقوع مرحله گرده افشانی نسبت به شاهد (بدون تلقیح) شد (۳۲).

**شاخص سطح برگ:** حداکثر و حداقل شاخص سطح برگ در تیمار تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری و شاهد به ترتیب ۶/۵۰ و ۴/۷۶ مشاهده گردید (جدول ۲). معادله دو تکه‌ای با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۸ به خوبی توانست تا رابطه بین شاخص سطح برگ و کود پتاسیم را توصیف نماید (جدول ۳). به طور کلی، به ازای هر کیلوگرم افزایش مصرف کود در تیمارهای تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و شاهد به ترتیب شاخص سطح برگ به صورت خطی و با سرعت معادل ۰/۰۱۸۳، ۰/۰۱۴۹، ۰/۰۱۲۵ و ۰/۰۰۸۸۱ تا زمان مصرف کود ۱۲۰، ۱۲۱/۶، ۱۳۰/۷ و ۱۲۷/۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت و سپس مقدارش ثابت و به حداکثر خود یعنی به ترتیب ۶/۵۰، ۵/۶۵، ۵/۴۷ و ۴/۷۶ رسید (شکل ۱-۵). به عبارت دیگر، تلقیح تنها با باکتری، تلقیح تنها با قارچ و تلقیح ترکیبی قارچ و باکتری به ترتیب باعث افزایش ۱۸/۷، ۱۴/۹ و ۳۶/۶ درصدی شاخص سطح برگ شد (جدول ۳). به طور مشابه، حضور باکتری‌های *P. putida*، *P. fluorescens* و *R. aquatilis* باعث افزایش به ترتیب ۱۳/۲، ۱۷/۵ و ۱۸/۹ درصدی شاخص سطح برگ برنج در زمان مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل نسبت به شاهد شدند (۹). این محققین علت افزایش این صفت را بهبود رشد ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی توسط گیاه ناشی از تولید هورمون ایندول استیک اسید توسط این ریزجانداران نسبت دادند. همچنین، تلقیح بذر گندم با باکتری *P. aurentiaca*

جذب آب و عناصر غذایی (از طریق افزایش سطح جذب ریشه و یا قابل استفاده کردن برخی از ترکیبات نامحلول)، القای مقاومت گیاه به پاتوژن‌های گیاهی و یا تولید برخی هورمون‌های رشد گیاهی مانند ایندول استیک اسید، جیبرلین و سیتوکینین نسبت داد (۱). همچنین، کاربرد این ریزجانداران علاوه بر پایداری تولید، باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی خواهد شد (۳۳).

بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که بین صفات مورد مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). همبستگی بین عملکرد دانه و تعداد کل پنجه در کپه، تعداد کل برگ در کپه، شاخص سطح برگ و ارتفاع بوته (به ترتیب ۰/۷۸، ۰/۹۴ و ۰/۹۰) مثبت و از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). چنین رابطه‌ای منطقی به نظر می‌رسد زیرا تولید پنجه بیشتر برابر تعداد برگ بیشتر، شاخص سطح بالاتر و جذب نور بیشتر می‌باشد که در نهایت منجر به تجمع ماده خشک بیشتر و عملکرد دانه بیشتر خواهد شد. بخشنده و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی را در گندم گزارش کردند (۱۱).

پتاسیم (۱۲/۵ درصد بیشتر از شاهد) گزارش نمود (۳۱). ایشان علت افزایش عملکرد دانه با مصرف ۹۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار را به خاطر افزایش تعداد کل پنجه و پنجه مؤثر در کپه، تعداد کل خوشه‌چه در خوشه و وزن هزار دانه گزارش کرد. تلقیح ریشه ارقام مختلف برنج (طارم محلی، طارم هاشمی و شیرودی) با باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش عملکرد شلتوک به میزان ۷/۷۴ تا ۳۷/۰ درصد نسبت به شاهد شد (۱۴). در مطالعه‌ای دیگر، عملکرد برنج، تعداد پنجه در کپه و وزن هزار دانه تحت تأثیر باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد *P. putida* و *P. fluorescens* به همراه مصرف فسفر معدنی قرار گرفتند، به طوری که عملکرد دانه از ۴۹۹ گرم در مترمربع در تیمار شاهد به ۵۶۲ گرم در مترمربع در تیمار تلقیح ترکیبی افزایش یافت (۱۷). اشرف‌عبداللهی و زارع (۲۰۱۵) بهبود رشد و عملکرد برنج در زمان کاربرد قارچ *P. indica* را گزارش نمودند (۶). والر و همکاران (۲۰۰۵) نیز نشان دادند که تلقیح گیاه جو با قارچ *P. indica* موجب افزایش ۱۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (۳۷). علت وقوع عملکردهای بالاتر در زمان حضور ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد را می‌توان به خاطر بهبود

جدول ۴- نتایج آنالیز همبستگی بین صفات مورد مطالعه (n = ۴۸).

Table 4. Correlation analysis results between the studied traits (n = 48).

نام صفت Trait name	(1) ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	(2) تعداد کل پنجه در کپه Total number of tillers hill <sup>-1</sup>	(3) تعداد کل برگ در کپه Total leaves number hill <sup>-1</sup>	(4) شاخص سطح برگ Leaf area index	(5) عملکرد دانه Grain yield (gr m <sup>-2</sup> )
(1)	1				
(2)	0.68 **	1			
(3)	0.69 **	0.75 **	1		
(4)	0.90 **	0.76 **	0.75 **	1	
(5)	0.90 **	0.84 **	0.78 **	0.94 **	1

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

\*\* Sidnificant at 0.01 probability level

نتیجه، برای دستیابی به کشاورزی پایدار به خوبی می‌توان از این ریزجانداران به صورت ترکیبی به همراه مقادیر کمتر کود سولفات پتاسیم استفاده نمود.

### سپاسگزاری

بدینوسیله از پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان و دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی ساری به‌خاطر حمایت‌های مالی این مطالعه تشکر و قدردانی می‌گردد.

### نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، کاربرد باکتری *P. ananatis* و قارچ *P. indica* به صورت ترکیبی از طریق بهبود صفات رویشی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه برنج (رقم 'طارم محلی') نسبت به تیمار شاهد شد. به‌طوری‌که کاربرد این تیمار علاوه بر کاهش مصرف کود سولفات پتاسیم به مقدار ۵۵/۵ کیلوگرم در هکتار (۴۰ درصد)، باعث افزایش عملکرد دانه به مقدار  $79 \pm 1/52$  گرم در مترمربع (۱۸/۶ درصد) در زمان مصرف بهینه کود فسفر و اوره نسبت به شاهد شد. در

### منابع

- Ahemad, M., and Kibret, M. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. J. King Saud Univ., Sci., 26: 1-20.
- Akbarlou, R. 2013. Effect of potassium and planting method on yield and some agronomical traits of local variety of round-grain rice in Khoy. J. Res. Crop Sci., 5: 1-14. (In Persian)
- Amin-Deladr, Z., Ehteshami, S., Shahabi Komoleh, A., and Khavazi, K. 2012. Effect of *Pseudomonas fluorescens* strains on morphophysiological traits and nutrients uptake in some of rice cultivars. J. Crop Prod., 5: 141-149. (In Persian)
- Anith, K., Faseela, K., Archana, P., and Prathapan, K. 2011. Compatibility of *Piriformospora indica* and *Trichoderma harzianum* as dual inoculants in black pepper (*Piper nigrum* L.). Symbiosis., 55: 11-17.
- Asghari, J., Ehteshami, S., Rajabi Darvishan, Z., and Khavazi, K. 2013. Investigation of spraying or root inoculation by plant growth promoting bacteria (PGPB) and their metabolites on morphophysiological indices, qualitative indices and yield in Hashemi cultivar of rice. J. Plant Proce. Function., 2: 25-39. (In Persian)
- Ashraf-Abdolahi, A., and Zarea, M. 2015. Effect of mycorrhiza and root endophytic fungi under flooded and semi-flooded conditions on grain yield and yield components of rice. J. Crop Prod., 8: 223-230. (In Persian)
- Bahmanyar, M., and Mashae, S.S. 2010. Influences of nitrogen and potassium top dressing on yield and yield components as well as their accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). African J. Biotechnol., 9: 2648-2653.
- Bakhshandeh, E., Ghadiryan, R., and Ghaderi-Far, F. 2011. Changes in seed quality during seed development and maturation in four cultivars sesame (*Sesamum indicum* L.). J. Plant Prod., 18: 1-24. (In Persian)
- Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., and Gilani, Z. 2018. Application of mathematical models to describe rice growth and nutrients uptake in the presence of plant growth promoting microorganisms. Appl. Soil Ecol., 124: 171-184.
- Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., and Shahsavarpour Lendeh, K. 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. Ecol. Eng., 103: 164-169.
- Bakhshandeh, E., Soltani, A., Zeinali, E., and Ghadiryan, R. 2013. Study of dry matter and nitrogen accumulation, remobilization and harvest index in



- Greenhouse Culture., 4: 99-107. (In Persian)
19. FAO 2014. FAOSTAT/ Productionstat/ Crops [Online]. Available at <http://Faostat.Fao.Org/Site/567/Default.aspx>. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
  20. Ghabooli, M., Hosseini Salekdeh, G., and Sepehri, M. 2015. The Effect of mycorrhiza-like fungus *Piriformospora indica* on some morphophysiological traits of rice under normal and drought stress conditions. Plant Prod. Technol., 7: 59-69. (In Persian)
  21. Ghasemi Mianaie, A., Mobaser, H., Madani, H., and Dastan, S. 2011. Silicon and potassium application facts on lodging related characteristics and quantity yield in rice (*Oryza sativa* L.) Tarom Hashemi variety. New Find. Agricul., 5: 423-435. (In Persian)
  22. Hojattipor, S., Jafari Haghighi, B., and Drostkar, M. 2014. The effect of integration of biological and chemical fertilizers on yield, yield components and growth indexes of wheat. Plant Ecophysiol., 5: 36-48. (In Persian)
  23. Hussain, M., Asgher, Z., Tahir, M., Ijaz, M., Shahid, M., Ali, H., and Sattar, A. 2016. Bacteria in combination with fertilizers improve growth, productivity and net returns of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pak. J. Agricul. Sci., 53: 633-645.
  24. Kızılkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecol. Eng., 33: 150-156.
  25. Malboobi, M.A., Owlia, P., Behbahani, M., Sarokhani, E., Moradi, S., Yakhchali, B., Deljou, A., and Heravi, K.M. 2009. Solubilization of organic and inorganic phosphates by three highly efficient soil bacterial isolates. World J. Microbiol. Biotechnol., 25: 1471-1477.
  26. Meena, V.S., Maurya, B.R., Verma, J.P., and Meena, R.S. 2016. Potassium Solubilizing Microorgan. Springer. Pp: 1-20.
  - bread and durum wheat cultivars. J. Crop Prod., 6: 49-69. (In Persian)
  12. Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H., and Nematzadeh, G.A. 2014a. Application of *Rahnella aquatilis* and *Enterobacter* sp. as phosphate solubilizing bacteria on some of vegetative traits and photosynthetic pigments in the early growing stage of rice plant, First Conference on New Finding in Environment and Agricultural Ecosystems, Tehran, Iran. (In Persian)
  13. Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H., and Nematzadeh, G.A. 2014b. Phosphate solubilization potential and modeling of stress tolerance of rhizobacteria from rice paddy soil in northern Iran. World J. Microbiol. Biotechnol., 30: 2437-2447.
  14. Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H., and Nematzadeh, G. 2015. Evaluation of phosphate-solubilizing bacteria on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in northern Iran. J. Appl. Microbiol., 119: 1371-1382.
  15. Bashan, Y., Holguin, G., and De-Bashan, L.E. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). Can. J. Microbiol., 50: 521-577.
  16. Burd, G.I., Dixon, D.G., and Glick, B.R. 2000. Plant growth promoting rhizobacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. Can. J. Microbiol., 33: 237-245.
  17. Ebrahimi-Chamani, H., Yasari, E., and Pirdashti, H. 2015. Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L. cv. Shiroodi) to different phosphate solubilizing microorganisms and mineral phosphorous. Int. J. Biosci., 6: 70-75.
  18. Ehteshami, S., Amin-Deldar, Z., and Khavazi, K. 2013. Foliar spraying of different strains of *Pseudomonas fluorescens* on quantitative characteristics, yield and yield components of two rice cultivars under greenhouse conditions. J. Sci. Technol.

- yield and uptake of some nutrients in corn. *The Scient. J. Agricul.*, 37: 93-106.
34. Sharma, S.B., Sayyed, R.Z., Trivedi, M.H., and Gobi, T.A. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Plus.*, 2: 1-14.
35. Sherameti, I., Shahollari, B., Venus, Y., Altschmied, L., Varma, A., and Oelmüller, R. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* stimulates the expression of nitrate reductase and the starch-degrading enzyme glucan-water dikinase in tobacco and *Arabidopsis* roots through a homeodomain transcription factor that binds to a conserved motif in their promoters. *J. Biol. Chem.*, 280: 26241-26247.
36. Varma, A., Bakshi, M., Lou, B., Hartmann, A., and Oelmueller, R. 2012. *Piriformospora indica*: a novel plant growth-promoting mycorrhizal fungus. *Agricul. Res.*, 1: 117-131.
37. Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Hückelhoven, R., Neumann, C., and von Wettstein, D. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 102: 13386-13391.
38. Zhang, H.W., Song, Y.C., and Tan, R.X. 2006. Biology and chemistry of endophytes. *Nat. Prod. Rep.*, 23: 753-771.
27. Mohammadi, E., Asghari, H., and Gholami, A. 2013. Effect of mycorrhiza inoculation and phosphorus fertilizer on some growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Hashem cultivar. *Agroecology.* 5: 263-271. (In Persian)
28. Mousavi, S., Babaezad, V., Sharifnabi, B., Tajic Ghanbari, M., Massah, A., and Alavi, S. 2014. Induction of blast disease resistance in rice plants by endophyte fungus *Piriformospora indica*. *Iran. J. Plant Pathol.* 50: 255-267. (In Persian)
29. Park, J., Bolan, N., Megharaj, M., and Naidu, R. 2010. Isolation of phosphate-solubilizing bacteria and characterization of their effects on lead immobilization. *Pedology.* 53: 67-75.
30. Parmar, P., and Sindhu, S. 2013. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. *J. Microbiol. Res.*, 3: 25-31.
31. Rezaee, A. 2010. Investigation of the effects of different levels of silica and potassium in two planting arrangements on some agronomic and morphologic characteristics related to the lodging of rice (cv. 'Tarom Mahali'), M.Sc. Thesis in Agronomy, Islamic Azad University Ghaemshahr Branch. 102p. (In Persian)
32. Shasverpour Lendeh, K., Pirdashti, H., and Bakhshandeh, E. 2016. Effect of *Enterobacter* sp. on some vegetative properties of rice under different levels of potassium fertilizer, 17th Rice Conference, Sari, Iran. (In Persian)
33. Shariati, N., Alikhani, H., Babai, A., and Shariati, P. 2014. Effect of soil and seed inoculation with plant growth promoting bacteria *Pseudomonas fluorescens* on