برهمکنش منابع کودی سیلیس و فسفر بر شاخص‌های مرتبط به خوابیدگی بوته و مؤلفه‌های کمی و کیفی برنج (*Oryzasativa* L.) رقم طارم هاشمی

Interaction of silicon and phosphorous fertilizer on lodging related traits and qualitative and quantitative parameters of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Tarom Hashemi

فاطمه عبدی[۱]، یوسف نیک‌نژاد[۲*]، هرمز فلاح[۲]، سلمان دستان[۳] و داود براری تاری[۲]

۱. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌الله آملی، دانشجوی دکتری گروه زراعت، آمل، ایران.
۲. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌الله آملی، استادیار گروه زراعت، آمل، ایران.
۳. پژوهشگر پسادکتری، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۱ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2019.126116.1400

چکیده

عبدی، ف.، نیک نژاد، ی.، فلاح، ه.، دستان، د.، براری تاری، داود. . برهمکنش منابع کودی سیلیس و فسفر بر شاخص‌های مرتبط به خوابیدگی بوته و مؤلفه‌های کمی و کیفی برنج (*Oryzasativa* L.) رقم طارم هاشمی.
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۳ - شماره ۲- پیاپند ۱۲۷ تابستان ۱۳۹۹ صفحه: ۶۸-۴۶

این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش منابع کودی سیلیسیم و فسفر بر شاخص‌های مرتبط با خوابیدگی بوته و مؤلفه‌های کمی و کیفی برنج در منطقه گلان شهرستان آمل طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. منابع کود سیلیس شامل شاهد (عدم مصرف)، سیلیکات کلسیم و سیلیکات پتاسیم به‌صورت خاک مصرف و محلول‌پاشی نانوسیلیس به‌عنوان عامل اصلی و منابع کود فسفر شامل شاهد (عدم مصرف)، سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، باکتری هرباسپیریلوم + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و قارچ میکوریز گلوموس موسه‌آ + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. بر اساس تجزیه مرکب و مقایسه میانگین‌ها، کمترین شاخص خوابیدگی میانگره سوم در هر دو سال (۳۸/۲۰ و ۲۰/۶۹ درصد) با محلول‌پاشی نانوسیلیس و عدم کاربرد فسفر حاصل شد. بیشترین شاخص خوابیدگی میانگره چهارم در هر دو سال (۶۰/۰۷ و ۴۴/۶۶ درصد) با مصرف کود شیمیایی + تلقیح با باکتری به‌دست آمد. بیشترین عملکرد دانه (۵۱۴۷ کیلوگرم در هکتار) در برهمکنش محلول‌پاشی نانوسیلیس و کاربرد ترکیبی فسفر + تلقیح باکتری به‌دست آمد. محلول‌پاشی نانوسیلیس در مقایسه با کاربرد خاکی سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم موجب جذب بالاتر عناصر سیلیس، نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین بهبود عملکرد دانه شد. کاربرد ترکیبی فسفر + تلقیح باکتری دارای اثر مثبت بالاتری برای جذب عناصر نسبت به کاربرد فسفر شیمیایی و همچنین کاربرد ترکیبی فسفر + قارچ نشان داد. بنابراین، محلول‌پاشی نانوسیلیس و کاربرد ترکیبی کود شیمیایی + تلقیح بذر با باکتری می‌تواند موجب افزایش عملکرد و جذب عناصر دانه برنج شود.

واژه های کلیدی: باکتری هرباسپیریلوم، تلقیح، کارایی استفاده از عناصر، قارچ مایکوریز و نانو سیلیس

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: yousofniknejad@gmail.com

مقدمه:

مشکل عمده خاک‌های شالیزاری استان مازندران حلالیت پایین فسفر و غیرقابل جذب بودن آن است (Najafi & Tofighi, 2014). این عنصر پرمصرف و ضروری برای گیاهان، به فرم کود فسفر به خاک اضافه می‌شود؛ اما بخش عمده آن به‌دلیل تثبیت شدن در خاک به سرعت بی حرکت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (Zhu *et al.,* 2011). پیامد چنین وضعیتی منجر به روی آوردن کشاورزان به کشاورزی فشرده و مصرف بالای نهاده‌های شیمیایی است. استفاده فزاینده از این نهاده‌ها در خاک‌های زراعی سبب مخاطرات محیط‌زیستی می‌شود (Ramezani & Hanifi, 2011). همچنین، مصرف بیش از حد فسفر در گیاه باعث تولید ترکیب پیچیده‌ای بنام اسید فیتیک شده که مانع جذب مواد معدنی مهمی مثل آهن، روی و کلسیم می‌شود (Moghaddasi, 2009). بنابراین، برای حل مشکل فوق می‌توان از پتانسیل باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR) و قارچ‌های افزاینده رشد گیاه (PGPF) در محیط ریشه (رایزوسفر) و همچنین باکتری‌ها و قارچ‌های حل کننده فسفات (PSB) به‌عنوان یک راهکار جهت فراهمی فسفر مصرفی گیاهان استفاده کرد (Lavakush *et al.,* 2014). کودهای زیستی به‌عنوان نهاده‌های بوم‌سازگار می‌توانند باعث کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و بهبود حاصلخیزی خاک شوند (Arzanesh & Faraji, 2015). این ریزجانداران با استقرار در ریشه گیاهان و تولید اسیدهای آمینه و آلی، ویتامین‌ها و مواد افزاینده رشد علاوه بر افزایش حاصلخیز خاک باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Lavakush *et al.,* 2014).

برخی از محققان گزارش کردند باکتری‌های حل‌کننده فسفات نه تنها باعث افزایش قابلیت جذب فسفر نامحلول و تثبیت‌شده در خاک می‌شوند، بلکه با تولید برخی از هورمون‌های گیاهی از قبیل ایندول استیک اسید موجب تسهیل جذب عناصر غذایی می‌شوند (Bakhshandeh *et al.,* 2015). به‌عنوان مثال، افزایش صفات رویشی، رنگدانه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه و زیستی گیاه برنج در زمان تلقیح با باکتری‌های *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens, Enterobacter* sp. *Rahnella aquatitlis*, در کشت گلدانی و مزرعه‌ای (Bakhshandeh *et al.,* 2015)، افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، تعداد برگ و پنجه در زمان کاربرد *P. putida* (Sharma *et al.,* 2014) و افزایش جذب عناصر، عملکرد دانه و وزن خشک ساقه برنج در زمان کاربرد *P. fluorescens* (Asghari *et al.,* 2013) در مقایسه با استفاده از کود شیمیایی به تنهایی گزارش شد. به‌طور مشابه، در مطالعه دیگر افزایش عملکرد دانه برنج با مصرف توأم باکتری *Azospirillum* و کود شیمیایی گزارش شد (Hahn *et al.,* 2016).

قارچ افزاینده رشد گیاهی و حل‌کننده فسفات نیز دارای کارکردهای ویژه و چندگانه‌ای از جمله بهبود رشد گیاهان و القاء مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده (Bagheri *et al.,* 2014)، و افزایش پتانسیل رشد و جذب مواد غذایی، بازده مصرف کودها هستند (Shoresh *et*

al., 2010). با توجه به اینکه قارچ‌های همزیست باعث تحریک ریشه برای جذب مواد غذایی و انحلال فسفات غیرمحلول در خاک می‌گردند (Oelmuller *et al.,* 2009)، می‌توان امیدوار به جایگزینی آن به جای کودهای شیمیایی بود (Abdellatif *et al.,* 2009). بر اساس گزارش‌ها، قارچ‌های میکوریزا منجر به افزایش جذب فسفر، نیتروژن، پتاسیم، منگنز و روی در ذرت شد (Malla *et al.,* 2002). در همین راستا، گزارش شد کاربرد دو گونه قارچ میکوریزا از جنس گلوموس موسه‌آ، سبب افزایش قابل توجه غلظت فسفر و عملکرد گیاه شد (Sun *et al.,* 2010). دیگر محققان گزارش کردند تلقیح بذر ذرت با قارچ میکوریز آربوسکولار منجر به کاهش ۵۰ درصدی کود شیمیایی فسفر بدون کاهش عملکرد ذرت شد (Heidari *et al.,* 2014). در مطالعه دیگر گزارش شد کاربرد قارچ میکوریز گلوموس موسه‌آ منجر به افزایش معنی‌دار غلظت فسفر بوته ذرت شد (Zhang *et al.,* 2011).

از جمله راهکارهای اساسی دیگر برای حل این مشکل، کاربرد منابع کودی سیلیسیم است که می‌تواند بسیار سودمند باشد. در واقع، سیلیس به‌دلیل همگرایی با فسفر، قابلیت جذب فسفات خاک را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، مصرف سیلیس منجر به کاهش خوابیدگی بوته و آفات و بیماری گیاهان زراعی می‌شود (Datnoff, 2011). محققان گزارش کردند سیلیس باعث بهبود ارتفاع گیاه، طول میانگره، وزن تر، حرکت خمش و مقاومت به شکستگی در گیاه برنج شده و شاخص خوابیدگی بوته را کاهش داد (Dastan *et al.,* 2012; Dastan *et al.,* 2011). دیگر محققان نیز بیان کردند مصرف سیلیکات کلسیم باعث افزایش ارتفاع گیاه، تعداد پنجه در کپه، طول خوشه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه به میزان ۲۵ الی ۳۰ درصد شد (Ahmad *et al.,* 2013; Ghasemi Mianaei *et al.,* 2011). همچنین، با کاربرد سیلیکات کلسیم غلظت سیلیس برگ برنج افزایش یافت (Behtash *et al.,* 2010; Bokhtiar, 2011). با محلول‌پاشی سیلیس ۲۰ روز پس از نشاکاری برنج نیز عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Prakash & Chandrashekhar, 2011). در همین رابطه، محققان با بررسی اثر نانوسیلیس و نانوپتاسیم بر ارقام بومی برنج گزارش کردند حداکثر عملکرد دانه برنج رقم طارم هاشمی (۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، غلظت سیلیس دانه و غلظت پتاسیم دانه با کاربرد نانوسیلیس و نانوپتاسیم حاصل شد (Ghasemi Lemraski *et al.,* 2019).

با توجه مخاطرات محیط‌زیستی کاربرد بالای کودهای شیمیایی در مزارع شالیزاری، استفاده از کودهای زیستی و کودهای از منبع سیلیسیم به‌ویژه محلول‌پاشی نانوسیلیس می‌تواند در دستیابی به عملکرد مطلوب و پایدار و همچنین کاهش آلودگی محیط‌زیستی مطلوب باشد. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش منابع کودی سیلیسیم و فسفر بر شاخص‌های مرتبط به خوابیدگی بوته و عملکرد دانه برنج رقم طارم هاشمی در منطقه گلان شهرستان آمل انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در منطقه گلان شهرستان آمل طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. محل اجرای آزمایش در امتداد ساحل دریای خزر با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی با ارتفاع ۲۳ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد. مهم‌ترین ویژگی‌های آب و هوایی و مؤلفه‌های خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

منابع مختلف کود سیلیس شامل شاهد (عدم مصرف)، سیلیکات کلسیم (حاوی ۲۰ درصد سیلیس) به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت خاک مصرف، سیلیکات پتاسیم (حاوی ۲۰ درصد سیلیس) به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت خاک مصرف و محلول‌پاشی نانوسیلیس ($NanoSiO_2$) با متوسط اندازه ذرات ۱۴-۱۱ نانومتر با درجه خلوص نانوذرات برابر ۹۹ درصد ارائه شده معروف به دوبوژن) به‌عنوان عامل اصلی و منابع کود فسفر شامل شاهد (عدم مصرف)، سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، باکتری هرباسپیریلوم سروپدیکا + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و قارچ مایکوریز گلوموس موسه‌آ + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. مصرف کود فسفر بر اساس نتایج آزمون خاک و مصرف کود سیلیس بر اساس یافته‌های مطالعه‌های قبلی در منطقه ساری انجام شد (Ghasemi Lemraski *et al.*, 2019).

مقادیر مصرف سیلیکات کلسیم، سیلیکات پتاسیم، و منابع معدنی فسفر بعد از آماده شدن کرت و قبل از نشاکاری انجام شد. محلول‌پاشی نانوسیلیس بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده (شرکت آرمان سبز آدینه تحت لیسانس کشور کره‌جنوبی) با غلظت ۲۰ قسمت در میلیون در سه مرحله به‌ترتیب در مراحل اواسط پنجه‌زنی، اواخر پنجه‌زنی و بعد از خروج کامل خوشه‌ها صورت گرفت. باکتری هرباسپیریلوم و قارچ گلوموس موسه‌آ در زمان خزانه‌گیری به خاک خزانه اضافه شد. به این صورت که دو پشته ۱۰ متر مربعی به‌عنوان خزانه انتخاب شده که یکی از آن‌ها تحت تیمار باکتری و قارچ بود. پس از ماله کشیدن با قارچ مخلوط شده و سپس بذر جوانه‌دار شده روی آن پاشیده شد و سپس روی خزانه پلاستیک کشیده شد. قارچ‌ها به مدت ۳۰ روز در تماس مستقیم با بذر برنج بود. بعد از این مدت (پس از ۳۰ روز تلقیح) از گیاهچه ها آزمون تجزیه عناصر گرفته شد.

کودهای نیتروژن و پتاسیم با توجه به نتیجه آزمون خاک و توصیه مؤسسه تحقیقات برنج کشور به‌ترتیب به مقدار ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره و سولفات پتاسیم مصرف شدند. ۳۰ درصد کود نیتروژن به‌صورت سرک در مرحله ظهور خوشه آغازین و ۳۰ درصد کود نیتروژن به‌صورت سرک در مرحله خوشه‌دهی کامل مصرف شد. ۶۰ درصد کود پتاسیم به‌صورت پایه و مقدار باقی‌مانده در دو تقسیط ۲۰ درصدی در مراحل پنجه زنی و ظهور خوشه آغازین به‌صورت سرک مصرف شد.

برای اجرای عملیات طرح، باتوجه به نوع تیمار آزمایشی، ابتدا زمین خزانه آماده و عملیات تسطیح، ماله کشیدن و کودپاشی انجام شد. عملیات کامل شخم بهاره، ماله کشیدن و تسطیح انجام شده و بعد از آن زمین به سه تکرار مساوی تقسیم گردید که هر تکرار دارای ۱۶ کرت با طول و عرض ۵×۲ متر مربع بود. برای جلوگیری از نشت آب، کودهای شیمیایی و علف‌کش مرز کرت‌ها تا عمق یک متر پوشش نایلونی کشیده شد. رقم مورد استفاده، طارم هاشمی بود که نشاهای آن در مرحله ۵-۳ برگی به مزرعه منتقل و به تعداد سه نشا در هر کپه با تراکم توصیه شده (۲۰×۲۰ سانتی متر مربع) نشاکاری شد. سایر عملیات زراعی طبق عرف منطقه انجام شد. در طی دوره نمو و رشد گیاه بعد از حذف اثر حاشیه‌ای در هر کرت به‌صورت تصادفی صفات زیر طبق استاندارد مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (SES) اندازه‌گیری شدند.

برای تعیین ویژگی‌های مورفولوژیک وابسته به خوابیدگی بوته، ۳۰ روز پس از خوشه‌دهی کامل (از روی ۱۲ ساقه در هر کرت) نمونه‌گیری انجام شد. گشتاور خمشی یا حرکت خمش میانگره سوم و چهارم و مقاومت به شکستگی میانگره سوم و چهارم با شمارش میانگره‌ها از بالا به پایین در کپه طبق فرمول زیر محاسبه و به‌صورت گرم در سانتی‌متر بیان شد (Islam *et al.*, 2007). میزان نیروی لازم برای شکستن ساقه از نیوتن به گرم در سانتی‌متر تبدیل شد.

وزن تر همین قسمت × طول گیاه از پایین‌ترین گره میانگره ۳ و ۴ تا رأس خوشه = گشتاور خمشی میانگره ۳ و ۴مقاومت به شکستگی از طریق دستگاه نیروسنج (Prostrate Tester) و بر اساس میزان نیروی لازم برای شکستن میانگره سوم و چهارم ساقه برنج اندازه‌گیری شد. شاخص خوابیدگی میانگره‌های سوم و چهارم نیز از رابطه زیر حاصل شد (Islam *et al.*, 2007).

۱۰۰ × مقاومت به شکستگی میانگره ۳ و ۴ / گشتاور خمشی میانگره ۳ و ۴ = شاخص خوابیدگی میانگره ۳ و ۴

تعداد کل پنجه در کپه و تعداد پنجه بارور در کپه با شمارش و اندازه‌گیری از روی ۱۲ کپه در هر کرت اندازه‌گیری شد. تعداد کل خوشه‌چه و درصد خوشه‌چه پر در خوشه با شمارش از روی ۱۵ خوشه در هر کرت تعیین شد. عملکرد دانه و عملکرد زیستی با برداشت کپه از چهار متر مربع از قسمت میانی هر کرت بر اساس رطوبت ۱۲ درصد اندازه‌گیری شده و از نسبت بین عملکرد دانه و عملکرد زیستی شاخص برداشت محاسبه و بر حسب درصد بیان شد.

درصد نیتروژن دانه به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (Samonte *et al.*, 2006). مقدار جذب نیتروژن از طریق حاصل‌ضرب غلظت عنصر در ماده خشک گیاه حاصل شد (Dobermann, 2005). محتوای پروتئین دانه از حاصل‌ضرب غلظت نیتروژن در ضریب پروتئینی ۶/۲۵ محاسبه شد (Samonte *et al.*, 2006). از حاصل‌ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه نیز مقدار عملکرد پروتئین به‌دست آمد (Samonte *et al.*, 2006). تعیین محتوای پتاسیم گیاه برنج با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر انجام شد (Estefan *et al.*, 2013). برای تعیین غلظت فسفر بوته برنج

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی و مؤلفه‌های خاک محل آزمایش قبل از نشاکاری برنج.

Table 1. Meteorological parameters and soil properties at the experimental site prior to rice transplantation

ماه Month	دمای کمینه Min. temp. (°C)	دمای بیشینه Max. temp. (°C)	تبخیر و تعرق Evapotranspiration (mm)	بارندگی Precipitation (mm)	رطوبت نسبی Mean humidity (%)	ساعت آفتابی Sunshine hours	تابش خورشیدی Solar radiation (MJ m^{-2} d^{-1})
فروردین Apr.-May	10.8	18.6	63.2	99.3	77	123.6	13.5
اردیبهشت May-Jun.	16.4	24.8	85.9	41.4	78	140.9	15.9
خرداد Jun.-Jul.	19.9	27.8	121.8	24.6	80	232.8	21.1
تیر Jul.-Aug.	22.3	30.7	130.2	39.6	79	203.0	19.7
مرداد Aug.-Sep.	22.5	33.1	142.3	11.4	76	232.5	20.2
شهریور Sep.-Oct.	21.6	31.0	113.9	88.5	65	193.0	16.5
میانگین ۱۵ سال 15-year average	18.5	26.9	120.8	93.4	77.5	182.7	17.9

ویژگی خاک Soil properties	عمق خاک Depth (cm)	بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	ماده آلی Organic matter (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل جذب Available potassium (mg kg^{-1})	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})
سال اول (۱۳۹۶) First year	0-30	لومی رسی Clay loam	7.5	1.05	8	185	0.62
سال دوم (۱۳۹۷) Second year	0-30	لومی رسی Clay loam	7.3	1.15	10	197	0.60

نیز از روش اسید کلریدریک استفاده شد (Gee & Bauder, 1986). غلظت فسفر عصاره‌ها نیز توسط روش رنگ‌سنجی تعیین شد (Murphy & Riley, 1962). همچنین، اندازگیری سیلیس گیاه برنج از روش داتنوف انجام شد (Datnoff *et al.*, 2001). کارایی استفاده از عناصر (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سیلیس) نیز از نسبت وزن دانه به مقدار عنصر جذب شده توسط گیاه به‌دست آمد و به‌صورت کیلوگرم بر کیلوگرم بیان شد (Dobermann, 2005; Fageria *et al.*, 2011).

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل آماری داده‌ها (آزمون بارتلت، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین) از طریق نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. تجزیه مرکب داده ها پس از آزمون یکنواختی میانگین مربعات خطا انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش برش‌دهی متقابل با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

برای بررسی اثر سال بر صفات مورد بررسی تحت اثر تیمارهای سیلیس و فسفر، ابتدا داده‌های حاصل با استفاده از آزمون متجانس بودن واریانس‌ها به روش بارتلت سنجیده شدند. نتایج حاصل نشان داد هیچ کدام از صفات مورد مطالعه در آزمون بارتلت معنی‌دار نشدند که برای این صفات تجزیه واریانس مرکب انجام شد (جدول ۲).

نتایج و بحث

شاخص‌های خوابیدگی بوته، اجزای عملکرد و عملکرد

با توجه به یافته‌های تجزیه واریانس مشاهده شد که صفات ارتفاع بوته، طول خوشه و شاخص خوابیدگی میانگره سوم تحت اثر ساده سیلیس و صفات ارتفاع بوته، طول خوشه و شاخص خوابیدگی میانگره‌های سوم و چهارم تحت اثر ساده فسفر معنی‌دار شدند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). در اثرمتقابل دوگانه سال × سیلیس نیز صفت شاخص خوابیدگی میانگره سوم در سطح احتمال پنج درصد و تحت اثرمتقابل سال × فسفر نیز شاخص خوابیدگی میانگره‌های سوم و چهارم تفاوت آماری معنی‌داری را نشان دادند. علاوه بر این، صفت طول خوشه تحت اثرمتقابل دوگانه سیلیس × فسفر و صفت شاخص خوابیدگی میانگره سوم نیز تحت اثرمتقابل سه گانه سال × سیلیس × فسفر قرار گرفت (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).

جدول تجزیه واریانس اجزای عملکرد نشان داد که صفات تعداد کل پنجه و پنجه بارور در کپه، تعداد کل خوشه‌چه و خوشه‌چه پر در خوشه و عملکرد کاه تحت اثر ساده سیلیس و همچنین صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت نیز تحت اثر ساده فسفر قرار گرفتند. همچنین، صفت تعداد خوشه‌چه پر در خوشه تحت اثرمتقابل سال × فسفر و همچنین صفات عملکرد دانه و عملکرد کاه در اثرمتقابل سیلیس × فسفر معنی‌دار شدند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).

مقایسه میانگین اثر ساده مصرف سیلیس نشان داد با مصرف نانوسیلیس، سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم ارتفاع بوته نسبت به شاهد به‌ترتیب ۶/۶۲، ۳/۴۸ و ۱/۳۱ درصد کاهش یافت، ولی سایر صفات زراعی مثل تعداد کل پنجه و پنجه بارور در کپه و همچنین تعداد کل خوشه‌چه و خوشه‌چه پر در خوشه افزایش یافتند

جدول ۲- نتایج آزمون بارتلت برای صفات مورد بررسی تحت اثر سال.

Table 2. Bartlett test results for the investigated traits as affected by year

صفات مورد بررسی Investigated traits	Pr > ChiSq
طول خوشه Panicle length	2.10^{ns}
ارتفاع بوته Plant height	0.76^{ns}
شاخص خوابیدگی میانگره ۳ Lodging index of 3rd internode	0.04^{ns}
شاخص خوابیدگی میانگره ۴ Lodging index of 4th internode	0.04^{ns}
تعداد پنجه در کپه No. of tiller per hill	2.47^{ns}
تعداد پنجه بارور در کپه No. of fertile tiller per hill	1.32^{ns}
تعداد خوشه‌چه در خوشه No. of spikelet per panicle	0.02^{ns}
تعداد خوشه‌چه پر در خوشه No. of filled spikelet per panicle	0.30^{ns}
عملکرد دانه Grain yield	0.17^{ns}
عملکرد زیستی Biological yield	0.25^{ns}
شاخص برداشت Harvest index	0.91^{ns}
سیلیس دانه Grain Si content	0.07^{ns}
نیتروژن دانه Grain N content	0.02^{ns}
نیتروژن کاه Straw N content	0.12^{ns}
فسفر دانه Grain P content	0.001^{ns}
فسفر کاه Straw P content	2.34^{ns}
پتاسیم دانه Grain K content	0.19^{ns}
پتاسیم کاه Straw K content	0.21^{ns}
عملکرد پروتئین Protein yield	3.30^{ns}
کارایی استفاده از سیلیس Si utilization efficiency	0.31^{ns}
کارایی استفاده از نیتروژن N utilization efficiency	2.09^{ns}
کارایی استفاده از فسفر P utilization efficiency	0.29^{ns}
کارایی استفاده از پتاسیم K utilization efficiency	1.17^{ns}

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

(جدول ۳).

تعداد پنجه در کپه با محلول‌پاشی نانوسیلیس و مصرفی خاکی سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم در مقایسه با شاهد برابر ۱۷/۷۸، ۶/۸ و ۲/۰۵ درصد و تعداد پنجه بارور در کپه برابر ۱۸/۹۸، ۱۱/۶۳ و ۱/۲۱ درصد افزایش یافتند. تعداد خوشه‌چه در خوشه با مصرف نانوسیلیس، سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم نسبت به شاهد ۱۲/۱۸، ۶/۶۱ و ۵/۲۱ درصد و صفت تعداد خوشه‌چه پر در خوشه به میزان ۸/۲۹، ۳/۳ و ۰/۹۳ درصد افزایش نشان دادند. مقایسه میانگین اثر ساده مصرف فسفر نیز نشان داد ارتفاع بوته با

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات زراعی برنج با مصرف سیلیس و فسفر.

Table 3. Mean comparison for the agronomic traits of rice under silicon and phosphorus application

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد پنجه در کپه No. of tiller per hill	تعداد پنجه بارور در کپه No. of fertile tiller per hill	تعداد خوشه‌چه در خوشه No. of spikelet per panicle	تعداد خوشه‌چه پر در خوشه No. of filled spikelet per panicle	شاخص برداشت Harvest index (%)
سیلیس Silicon						
عدم مصرف Control	139.21^{a}	15.58^{c}	10.75^{b}	97.29^{b}	90.61^{b}	42.24^{a}
نانوسیلیس Nano-Si	130.00^{c}	18.35^{a}	12.79^{a}	109.14^{a}	98.12^{a}	43.83^{a}
سیلیکات پتاسیم K-Si	134.45^{b}	16.64^{b}	12.00^{a}	103.72^{ab}	93.60^{ab}	43.82^{a}
سیلیکات کلسیم Ca-Si	137.39^{ab}	15.90^{bc}	10.88^{b}	102.36^{ab}	91.45^{b}	43.31^{a}
LSD 0.05	3.33	0.93	0.81	7.54	5.44	1.69
فسفر Phosphorus						
عدم مصرف Control	129.21^{b}	16.24^{a}	11.13^{a}	98.76^{b}	91.60^{a}	41.91^{b}
کود شیمیایی Fertilizer	136.95^{a}	17.01^{a}	11.88^{a}	107.22^{a}	95.75^{a}	43.66^{a}
کود + باکتری هرباسپیریلوم Fertilizer + bacteria	138.82^{a}	16.57^{a}	11.50^{a}	103.40^{ab}	93.87^{a}	43.99^{a}
کود + قارچ مایکوریز Fertilizer + fungi	136.07^{a}	16.66^{a}	11.92^{a}	103.12^{ab}	92.57^{a}	43.64^{a}
LSD 0.05	3.32	0.93	0.80	7.54	5.44	1.69

*: حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

*: Values within a column followed by the same letter(s) are not significantly different according to the LSD test ($P \leq 0.05$).

مصرف خالص کود شیمیایی، مصرف توأم کود شیمیایی + تلقیح باکتری هرباسپیریلوم و مصرف توأم کود شیمیایی + قارچ مایکوریز در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۵/۹۹، ۷/۴۴ و ۵/۳۱ درصد افزایش و شاخص برداشت با مصرف خالص کود، مصرف توأم کود + باکتری و مصرف توأم کود + قارچ برابر ۱/۷۵، ۲/۰۸ و ۱/۷۳ درصد افزایش داشتند (جدول ۳).

یافته‌های مقایسه میانگین سال × فسفر به روش برش‌دهی متقابل اثر سال نشان داد در سال اول شاخص خوابیدگی میانگره چهارم با مصرف خالص کود شیمیایی فسفر، مصرف کود + تلقیح باکتری و مصرف کود + تلقیح قارچ در مقایسه با شاهد برابر ۲۴/۲۱، ۳۲/۸۱ و ۱۸/۴۴ درصد و در سال دوم برابر ۳۳، ۳۶/۵۷ و ۱۷/۲۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). در سال اول تعداد خوشه‌چه پر در خوشه با مصرف کود شیمیایی، مصرف توام کود + باکتری و مصرف توام کود + قارچ در مقایسه با شاهد برابر ۷/۹۹، ۹/۲۳ و ۶/۱۴ درصد و در سال دوم برابر ۱/۷، ۹/۰۴ و ۵/۸۸ درصد افزایش نشان دادند (جدول ۴).

یافته‌های مقایسه میانگین سال × سیلیس × فسفر به روش برش‌دهی متقابل اثر سال نشان داد که در سال اول بیشترین شاخص خوابیدگی میانگره سوم متعلق به عدم مصرف سیلیس و مصرف فسفر + تلقیح باکتری (۷۳/۳۶ درصد) و اثرمتقابل مصرف سیلیکات کلسیم و مصرف فسفر + تلقیح باکتری (۷۴/۱۶ درصد) و در سال دوم مربوط به اثرمتقابل مصرف سیلیکات کلسیم و مصرف فسفر + تلقیح باکتری (۴۲/۵۴ درصد) بود. کمترین شاخص خوابیدگی میانگره سوم نیز در هر دو سال متعلق به محلول‌پاشی نانوسیلیس و عدم مصرف فسفر (به‌ترتیب ۳۸/۲ و ۲۰/۶۹ درصد) بود (جدول ۵).

جدول ٤- اثرمتقابل سال در فسفر بر شاخص خوابیدگی و تعداد خوشه‌چه پر برنج به روش برش‌دهی متقابل

Table 4. Mean comparison for interaction of phosphorus application and year on lodging index and number of filled spikelets of rice

اثرمتقابل Interaction	شاخص خوابیدگی میانگره ۴ Lodging index of fourth internode (%)	تعداد خوشه‌چه پر در خوشه No. of filled spikelets per panicle
Y_1P_1	45.23^{b}	89.31^{b}
Y_1P_2	56.18^{ab}	96.45^{a}
Y_1P_3	60.07^{a}	97.55^{a}
Y_1P_4	53.57^{ab}	94.79^{ab}
Y_2P_1	32.70^{c}	88.68^{b}
Y_2P_2	43.49^{b}	90.19^{abc}
Y_2P_3	44.66^{b}	96.70^{a}
Y_2P_4	38.33^{bc}	93.89^{ab}

*: حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

*: Values within a column followed by the same letter(s) are not significantly different according to the LSD test ($P \leq 0.05$).

Y_1 و Y_2: به‌ترتیب سال اول (۱۳۹٦) و سال دوم (۱۳۹۷).

Y_1 and Y_2: first year (2017) and second year (2018), respectively.

P_1، P_2، P_3 و P_4: به‌ترتیب شاهد (عدم مصرف)، کود شیمیایی فسفر، کود شیمیایی + باکتری هرباسپریلوم و کود شیمیایی + قارچ مایکوریز.

P_1, P_2, P_3, and P_4: control (no fertilizer consumption), phosphorus fertilizer, fertilizer + bacteria and fertilizer + fungi, respectively.

جدول ۵- اثرمتقابل سیلیس در فسفر بر شاخص خوابیدگی، صفات زراعی و عملکرد برنج

Table 5. Interaction of silicon and phosphorus on lodging index, agronomic traits and yield of rice

اثرمتقابل Interaction	طول خوشه Panicle length (cm)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (kg ha^{-1})
S_1P_1	23.42^{e}	3826^{f}	8577^{e}
S_1P_2	23.74^{e}	4763^{bc}	10530^{bc}
S_1P_3	24.92^{cde}	4282^{def}	9748de
S_1P_4	23.58^{e}	4237^{def}	10220^{cd}
S_2P_1	25.25^{cd}	4113^{ef}	9897^{cde}
S_2P_2	29.11^{ab}	4405^{cd}	10222^{cd}
S_2P_3	29.33^{ab}	5147^{a}	12280^{a}
S_2P_4	27.85^{bcd}	4503^{b-e}	10637^{b}
S_3P_1	24.87^{cde}	4288^{def}	9922^{cde}
S_3P_2	29.10^{ab}	4450^{cde}	10167^{cd}
S_3P_3	29.38^{a}	4803^{b}	10853^{a}
S_3P_4	28.46^{abc}	4337^{c-f}	10370^{bcd}
S_4P_1	24.25^{cde}	4232^{def}	10685^{b}
S_4P_2	28.55^{abc}	4685^{bcd}	9670de
S_4P_3	29.83^{a}	4588^{b-e}	9898^{cde}
S_4P_4	28.04^{a-d}	4320^{c-f}	10455^{bc}

*: حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

*: Values within a column followed by the same letter(s) are not significantly different according to the LSD test ($P \leq 0.05$).

S_1، S_2، S_3 و S_4: به‌ترتیب شاهد (عدم مصرف)، کاربرد نانوسیلیس، سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم.

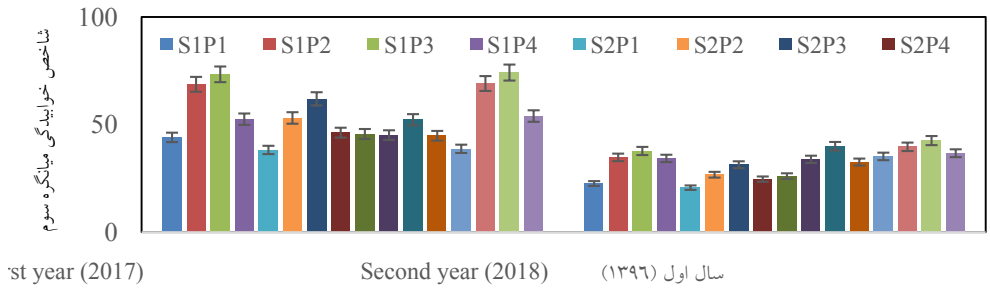
S_1, S_2, S_3, and S_4: control (no usage), nano-silicon, potassium silicate and calcium silicate, respectively.

P_1، P_2، P_3 و P_4: به‌ترتیب شاهد (عدم مصرف)، کود شیمیایی فسفر، کود شیمیایی + باکتری هرباسپریلوم و کود شیمیایی + قارچ مایکوریز.

P_1, P_2, P_3, and P_4: control (no fertilizer consumption), phosphorus fertilizer, fertilizer + bacteria and fertilizer + fungi, respectively.

بر اساس یافته‌ها می‌توان بیان کرد کمترین شاخص خوابیدگی میانگره سوم با محلول‌پاشی نانوسیلیس و عدم کاربرد فسفرحاصل شد و مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم در رتبه دوم و سوم قرار گرفتند (شکل ۱). بیشترین شاخص خوابیدگی میانگره سوم در هر دو سال با کاربرد سلسیکات کلسیم به همراه کاربرد کود شیمایی + تقلیح با باکتری به‌دست آمد که از این نظر مصرف خالص کود شیمیایی و مصرف کود + تلقیح با قارچ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۱).

یافته‌های مقایسه میانگین اثرمتقابل سیلیس × فسفر نشان داد بیشترین طول خوشه برای مصرف سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم با مصرف کود + تلقیح باکتری (به‌ترتیب ۲۹/۳۸ و ۲۹/۸۳ سانتیمتر) به‌دست آمد (جدول ۵). کمترین طول خوشه برای تیمار عدم مصرف سیلیس در سطوح شاهد فسفر، مصرف فسفر خالص و مصرف فسفر + تلقیح قارچ مشاهده شد. بالاترین میزان عملکرد دانه (۵۱۴۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد زیستی (۱۲۲۸۰ کیلوگرم در هکتار) در اثرمتقابل محلول‌پاشی نانوسیلیس و مصرف ترکیبی فسفر + تلقیح باکتری و کمترین عملکرد دانه (۳۸۲۶ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد زیستی (۸۵۷۷ کیلوگرم در هکتار) برای اثرمتقابل عدم مصرف سیلیس و فسفر



شکل ۱- اثر متقابل سه‌گانه سال با کاربرد کودهای سیلیس و پتاسیم بر شاخص خوابیدگی میانگره سوم.

Figure 1. Triple interaction of year, silicon and phosphorus on lodging index of 3rd internode

به‌دست آمد. طبق یافته‌ها می‌توان بیان کرد با محلول‌پاشی نانوسیلیس بیشترین عملکرد دانه و کاه حاصل شد که از این نظر مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین، حداکثر عملکرد دانه و کاه و کلش با مصرف ترکیبی کود + تلقیح باکتری به‌دست آمد که از این نظر نیز مصرف خالص فسفر و مصرف کود + تلقیح قارچ به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۵).

در همین رابطه، محققان گزارش کردند مصرف سیلیکات منیزیم به‌دلیل اثر مثبت بر فتوسنتز و همچنین کاهش بیماری بلاست سبب افزایش عملکرد دانه برابر ۳۳ درصد در برنج شد (Bernal, 2008). همچنین، محلول‌پاشی اسید سیلیسیک با فاصله هر ۱۰ روز در برنج موجب افزایش تعداد خوشه در بوته و در نهایت افزایش عملکرد دانه در واحد سطح گردید (Bhavya *et al.*, 2011). در واقع، سیلیسیم با ته‌نشین شدن در دیواره سلولی آوند چوبی از فرو ریختن آوندها در شرایط تعرق زیاد جلوگیری می‌کند و با استحکام ساقه موجب کاهش خوابیدگی بوته می‌شود که خود افزایش عملکرد را به دنبال دارد (Murillo-Amador, 2006). بنابراین، سیلیس در اثر جلوگیری از خوابیدگی بوته و بیماری مثل بلاست مانع از کاهش تولید می‌شود (Mobasser *et al.*, 2008). در مطالعه دیگر دریافتند که سیلیس سبب افزایش تعداد کل خوشه‌چه در خوشه می‌شود (Ahmad *et al.*, 2013). در مطالعه دیگر گزارش شد مصرف ۱۲۵۰ کیلوگرم سیلیکات کلسیم در هکتار از طریق افزایش تعداد خوشه‌چه پر در خوشه موجب افزایش عملکرد دانه در برنج می‌شود (Mobasser *et al.*, 2008). دیگر محققان در آزمایش خود به این نتیجه رسیدند که بیشترین تعداد خوشه‌چه در خوشه و کمترین تعداد خوشه‌چه پوک در خوشه مربوط به بالاترین سطح مصرفی سیلیس بود (Ghanbari-Malidarreh *et al.*, 2011). در مطالعه دیگر گزارش شد مصرف سیلیس از طریق کاهش خوابیدگی بوته و افزایش تعداد کل خوشه‌چه پر در خوشه و وزن هزار دانه سبب افزایش عملکرد دانه شد (Nolla *et al.*, 2012). کاربرد سیلیکات پتاسیم موجب افزایش حدود ۳۴ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد (Wang & Du, 2011). در پژوهش دیگر گزارش شد مصرف سیلیکات‌کلسیم موجب افزایش تعداد پنجه در کپه و طول خوشه و در نتیجه افزایش ۳۰-۲۵ درصدی عملکرد دانه در

مقایسه با شاهد گردید (Shashidhar, 2008).

در رابطه با تلقیح بذر برنج با باکتری، محققان گزارش کردند که کاربرد باکتری هرباسپیریلوم و آزوسپیریلوم منجر به افزایش تعداد پنجه در کپه، تعداد پنجه بارور در کپه، تعداد خوشه‌چه در خوشه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی شد. همچنین، آن‌ها گزارش کردند مایه‌زنی باکتری منجر به افزایش معنی‌دار فسفر دانه در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مایه‌زنی) شد (Molajafari *et al.,* 2016). در آزمایش گلخانه‌ای، تلقیح ریشه گیاهچه برنج با باکتری‌های (*P. putida*، *P. fluorescens* و *P. aeruginosa*) به‌همراه مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات‌تریپل، باعث افزایش تعداد پنجه (۵۹/۲ درصد)، ارتفاع بوته (۱۶/۳ درصد)، عملکرد دانه (۴۳/۰ درصد) نسبت به شاهد شد (Lavakush *et al.,* 2014). در پژوهشی دیگر، کاربرد تلفیقی کود زیستی به‌همراه کود شیمیایی ضمن تولید عملکرد دانه بیشتر ذرت نسبت به کاربرد جداگانه هر یک از تیمارها، مصرف کودهای شیمیایی را نیز کاهش داد (Eidizadeh *et al.,* 2010).

یافته‌های دیگر محققان نشان داد که با تلقیح بذر برنج رقم طارم هاشمی منجر به افزایش تعداد پنجه در کپه، تعداد خوشه‌چه در خوشه، عملکرد و شاخص برداشت شد (Ardakani *et al.,* 2012). در همین راستا، افزایش ۵۰ درصدی میزان پنجه زنی و ۴۵ درصدی تعداد خوشه در گیاه برنج همزیست شده با قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا را گزارش شد (Mousavi, 2012). اثرات مثبت همزیستی قارچ میکوریزا در رشد رویشی و عملکرد گیاه می تواند به‌علت بهبود جذب فسفر و افزایش جذب آب توسط هیف های قارچی و همچنین افزایش تراکم و طول ریشه گیاه، به ویژه در شرایط تنش خشکی باشد (Abo-Ghalia & Khalafallah, 2008). افزایش عملکرد دانه در گیاهان تلقیح شده در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شد که دلیل چنین افزایشی را مرتبط به سازوکار عمل این قارچ در بهبود جذب فسفر و آب دانستند (Jamshidi *et al.,* 2013). تلقیح ریشه ارقام مختلف برنج (طارم محلی، طارم هاشمی و شیرودی) با باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش عملکرد دانه از ۷/۷۴ تا ۳۷/۰ درصد نسبت به شاهد شد (Bakhshandeh *et al.,* 2015). بهبود رشد و عملکرد برنج در زمان کاربرد *Pi. indica* نیز گزارش گردید (Ashraf-Abdolahi & Zarea, 2015).

محتوای عناصر دانه و کاه (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سیلیس) و عملکرد پروتئین

یافته‌های جداول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که صفات محتوای نیتروژن دانه، کارایی استفاده از نیتروژن، عملکرد پروتئین، محتوای فسفر دانه و محتوای فسفر کاه و کلش تحت اثر ساده سیلیس و همچنین محتوای فسفر دانه تحت اثر ساده فسفر معنی‌دار شدند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).

در اثرمتقابل سال × سیلیس نیز صفات محتوای نیتروژن کاه و کلش، کارایی استفاده از نیتروژن، محتوای پتاسیم دانه، محتوای پتاسیم کاه و کارایی استفاده از پتاسیم تفاوت آماری معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۶). علاوه بر این، تحت اثر متقابل دوگانه سیلیس

× فسفر نیز صفات محتوای سیلیس دانه، محتوای نیتروژن دانه، محتوای فسفر دانه، محتوای فسفر کاه و محتوای پتاسیم دانه معنی‌دار شدند. محتوای نیتروژن دانه نیز در سال اول با مصرف نانوسیلیس، سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم نسبت به شاهد به میزان ۰/۲۱، ۰/۱۵ و ۰/۰۷ درصد و در سال دوم برابر ۰/۰۲، ۰/۱۰ و ۰/۰۱ درصد افزایش یافت. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در سال اول با محلول‌پاشی نانوسیلیس (۵۳/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم) و در سال دوم با مصرف نانوسیلیس و سیلیکات پتاسیم (به‌ترتیب ۴۸/۶۱ و ۴۸/۱۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) حاصل شد. کمترین کارایی استفاده از نیتروژن نیز در سال اول و دوم برای عدم مصرف سیلیس و مصرف سیلیکات کلسیم حاصل شد (جدول ۶). یافته‌های مربوط به غلظت پتاسیم نشان داد که محتوای پتاسیم دانه در سال اول با مصرف نانوسیلیس و سیلیکات پتاسیم بالاتر از عدم مصرف سیلیس و مصرف سیلیکات کلسیم بود. در سال دوم نیز بیشترین محتوای پتاسیم دانه متعلق به محلول‌پاشی نانوسیلیس بود که مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. بالاترین کارایی استفاده از پتاسیم نیز در هر دو سال با مصرف سیلیکات پتاسیم (به‌ترتیب ۶۳/۲۷ و ۴۱/۷۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد. کمترین کارایی استفاده از پتاسیم در سال اول مربوط به عدم مصرف سیلیس و مصرف سیلیکات کلسیم و در سال دوم متعلق به عدم مصرف، مصرف نانوسیلیس و سیلیکات کلسیم بود (جدول ۶).

بر اساس یافته‌های مقایسه میانگین اثرمتقابل سیلیس × فسفر مشاهده شد که بیشترین غلظت سیلیس و نیتروژن دانه (به‌ترتیب برابر ۴/۵ و ۱/۸۴

جدول ٦- اثر سال در سیلیس بر شاخص‌های جذب عناصر سیلیس و نیتروژن برنج به روش برش‌دهی متقابل

Table 6. Slicing interaction of silicon and year on rice uptake indices of silicon and nitrogen

اثرمتقابل Interaction	محتوای نیتروژن دانه Grain nitrogen content (%)	کارایی استفاده از نیتروژن Nitrogen utilization efficiency (kg kg^{-1})	محتوای پتاسیم کاه Straw potassium content (%)	کارایی استفاده از پتاسیم Potassium utilization efficiency (kg kg^{-1})
Y_1S_1	0.58^{b}	37.96^{c}	1.00^{c}	49.63^{b}
Y_1S_2	0.79^{a}	53.50^{a}	1.20^{bc}	59.01^{ab}
Y_1S_3	0.73^{a}	41.66^{bc}	1.23^{bc}	63.27^{a}
Y_1S_4	0.65^{ab}	35.96^{c}	1.02^{c}	51.23^{b}
Y_2S_1	0.42^{c}	46.32^{b}	1.33^{b}	33.67^{c}
Y_2S_2	0.44^{c}	48.61^{ab}	1.66^{ab}	35.38^{c}
Y_2S_3	0.52^{bc}	48.12^{ab}	1.76^{a}	47.71^{bc}
Y_2S_4	0.43^{c}	46.67^{b}	1.65^{ab}	34.09^{c}

*: حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

*: Values within a column followed by the same letter(s) are not significantly different according to the LSD test ($P \leq 0.05$).

Y_1 و Y_2: به‌ترتیب سال اول (۱۳۹٦) و سال دوم (۱۳۹۷).

Y_1 and Y_2: first year (2017) and second year (2018), respectively.

S_1، S_2، S_3 و S_4: به‌ترتیب شاهد (عدم مصرف)، کاربرد نانوسیلیس، سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم.

S_1, S_2, S_3, and S_4: control (no usage), nano-silicon, potassium silicate and calcium silicate, respectively.

درصد) با مصرف سیلیکات پتاسیم و مصرف ترکیبی فسفر + تلقیح باکتری به‌دست آمد (جدول ۷). کمترین محتوای سیلیس و نیتروژن دانه (به‌ترتیب برابر ۳/۰۲ و ۱/۱۷ درصد) متعلق به عدم مصرف سیلیس و فسفر بود. بیشترین درصد فسفر دانه نیز با مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم و مصرف ترکیبی فسفر + تلقیح باکتری (به‌ترتیب ۰/۲۲۳ و ۰/۲۲۵ درصد) و حداکثر غلظت فسفر کاه و کلش (۰/۲۵۵ درصد) با مصرف سیلیکات پتاسیم و مصرف ترکیبی فسفر + تلقیح باکتری مشاهده شد. کمترین غلظت فسفر دانه و کاه نیز برای عدم مصرف سیلیس و فسفر (به‌ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۱۷۸ درصد) به‌دست آمد. همچنین، بیشترین غلظت پتاسیم دانه با محلول‌پاشی نانوسیلیس و مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم و مصرف ترکیبی فسفر + تلقیح باکتری (به‌ترتیب ۰/۶۹۵ و ۰/۶۸۲ درصد) حاصل شد. کمترین غلظت فسفر دانه و کاه (به‌ترتیب برابر ۰/۱۳ و ۰/۱۷۸ درصد) برای عدم مصرف سیلیس و فسفر حاصل شد ولی حداقل غلظت پتاسیم دانه (۰/۴۱۷ درصد) با مصرف نانوسیلیس و عدم مصرف فسفر به‌دست آمد (جدول ۷).

بر اساس یافته‌ها می‌توان بیان کرد که محلول‌پاشی نانوسیلیس در مقایسه با مصرف خاکی سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم دارای مزایای بیشتری در جذب عناصر و همچنین بهبود عملکرد کمی بود که از این نظر سیلیکات پتاسیم در رتبه دوم و سیلیکات کلسیم در رتبه سوم قرار گرفت. همچنین، مصرف ترکیبی فسفر + تلقیح باکتری دارای اثر مثبت بالاتری برای جذب عناصر (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سیلیس) نسبت به مصرف خالص فسفر و همچنین مصرف ترکیبی فسفر + قارچ نشان داد که مزیت مصرف خالص فسفر نیز نسبت به مصرف ترکیبی فسفر + قارچ مشهود بود.

مصرف سیلیس در جذب و توزیع عناصر مؤثر است، به‌طوری که محققان گزارش کردند محتوای پروتئین دانه گندم با مصرف سیلیس کمی افزایش یافت ولی در ذرت و کاهو میزان پروتئین کاهش یافت (Greger *et al.,* 2011). در پژوهشی دیگر مصرف سیلیکات پتاسیم کارایی مصرف نیتروژن را ۳۱/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Wang & Du, 2011). در مقایسه در گزارشی بیان شد مصرف سیلیس باعث کاهش محتوی نیتروژن و پروتئین دانه برنج شد (Yimamu, 2008). در مطالعه دیگر کاربرد سیلیکات پتاسیم سبب افزایش غلظت سیلیس در برگ (Bokhtiar, 2011)، و کاهش درصد نیتروژن دانه و کاه در برنج شد (Shashidhar, 2008). طی تحقیقی نشان داده شد که کاربرد سیلیس در برنج منجر به افزایش این عنصر در اندام های هوایی به خصوص در دانه‌ها شد (Chen *et al.,* 2010)، که می‌تواند به‌دلیل افزایش میزان سیلیس انتقال یافته از ریشه، ساقه و برگ به پوسته دانه در مرحله رسیدگی باشد (Ding *et al.,* 2011).

محققان افزایش تعداد برگ جو را در زمان کاربرد باکتری *Azospirillum* و *Azetobacter* به همراه ۸۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار اوره و سوپرفسفات‌تریپل گزارش نمودند (Hokmalipour *et al.,* 2012). علت این افزایش

جدول ۷- اثر متقابل سیلیس در فسفر بر جذب عناصر در دانه و کاه برنج در تیمارهای کودی سیلیس و فسفر.

Table 7. Interaction of silicon and phosphorus on nutrient uptake in grain and straw of rice under silicon and phosphorus treatments

اثرمتقابل Interaction	محتوای سیلیس دانه Grain silicon content (%)	محتوای نیتروژن دانه Grain nitrogen content (%)	محتوای فسفر دانه Grain phosphorous content (%)	محتوای فسفر کاه Straw phosphorous content (%)	محتوای پتاسیم دانه Grain potassium content (%)
S_1P_1	3.02^{c}	1.17^{d}	0.130^{e}	0.178^{e}	0.508^{cd}
S_1P_2	3.65^{abc}	1.31^{cd}	0.163^{bcd}	0.183^{de}	0.585^{bc}
S_1P_3	4.13^{ab}	1.59^{abc}	0.178^{a-d}	0.183^{de}	0.563^{bc}
S_1P_4	3.05^{c}	1.32^{cd}	0.154^{cd}	0.187^{de}	0.527^{bcd}
S_2P_1	2.98^{c}	1.52^{bc}	0.167^{bcd}	0.183^{de}	0.417^{e}
S_2P_2	3.98^{abc}	1.65^{abc}	0.178^{a-d}	0.200^{bc}	0.597^{bc}
S_2P_3	4.50^{a}	1.84^{a}	0.190^{abc}	0.230^{ab}	0.695^{a}
S_2P_4	3.93^{abc}	1.65^{abc}	0.178^{a-d}	0.192^{bcd}	0.542^{bcd}
S_3P_1	3.36^{bc}	1.62^{abc}	0.148^{de}	0.214^{abc}	0.530^{bcd}
S_3P_2	3.77^{abc}	1.66^{abc}	0.205^{ab}	0.237^{ab}	0.602^{abc}
S_3P_3	3.62^{abc}	1.79^{ab}	0.223^{a}	0.255^{a}	0.682^{a}
S_3P_4	3.35^{bc}	1.65^{abc}	0.187^{abc}	0.218^{abc}	0.577^{bc}
S_4P_1	3.08^{c}	1.48^{bc}	0.182^{abc}	0.185^{de}	0.485^{d}
S_4P_2	3.53^{bc}	1.64^{abc}	0.203^{ab}	0.195^{bcd}	0.607^{abc}
S_4P_3	3.68^{abc}	1.71^{ab}	0.225^{a}	0.198^{bcd}	0.668^{ab}
S_4P_4	3.37^{bc}	1.50^{bc}	0.203^{ab}	0.190^{cd}	0.535^{bcd}

*: حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

*: Values within a column followed by the same letter(s) are not significantly different according to the LSD test ($P \leq 0.05$).

S_1، S_2، S_3 و S_4: به‌ترتیب شاهد (عدم مصرف)، کاربرد نانوسیلیس، سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم.

S_1, S_2, S_3, and S_4: control (no usage), nano-silicon, potassium silicate and calcium silicate, respectively.

P_1، P_2، P_3 و P_4: به‌ترتیب شاهد (عدم مصرف)، کود شیمیایی فسفر، کود شیمیایی + باکتری هرباسپریلوم و کود شیمیایی + قارچ مایکوریز.

P_1, P_2, P_3, and P_4: control (no fertilizer consumption), fertilizer, fertilizer + bacteria and fertilizer + fungi, respectively.

در زمان کاربرد باکتری را می‌توان به گسترش شبکه ریشه، افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود رشد گیاه نسبت داد. به‌طور مشابه، گزارش شد حضور باکتری‌های *P. putida*، *P. fluorescens* و *R. aquatilis* باعث افزایش شاخص سطح برگ به‌ترتیب ۱۳/۲، ۱۷/۵ و ۱۸/۹ درصد در زمان مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات‌تریپل شد (Bakhshandeh *et al.*, 2015). آن‌ها علت افزایش این صفت را بهبود رشد ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی توسط گیاه بیان داشتند. اثرات مثبت همزیستی شبه میکوریزایی در رشد رویشی و عملکرد گیاه می تواند به علت بهبود جذب فسفر و افزایش جذب آب به وسیله هیف های قارچی و همچنین افزایش تراکم و طول ریشه گیاه، به ویژه در شرایط تنش خشکی باشد (Abo-Ghalia & Khalafallah, 2008). افزایش عملکرد دانه در گیاهان تلقیح شده در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شد که دلیل چنین افزایشی را مرتبط به سازوکار عمل این قارچ در بهبود جذب فسفر و آب دانستند. افزایش وزن هزار دانه در تیمار تلقیح با قارچ پیریفورموسپورا

ایندیکا پیش تر در پژوهشی دیگر گزارش شده بود که این افزایش به اثر تلقیح قارچ در افزایش فتوسنتز و انتقال شیره پرورده بیشتر به دانه در مرحله پر شدن دانه، به دلیل بهبود جذب آب و عناصر غذایی مرتبط دانسته شد (Jamshidi *et al.,* 2013). در پژوهشی دیگر، دلیل افزایش ۲۰ درصدی محتوای کلروفیل کل برگ بادام همزیست‌شده با قارچ‌های میکوریز گلوموس موسه‌آ و *G. intraradicea* افزایش جذب فسفر از خاک توسط این قارچ بیان شد (Aghababaie & Reisi, 2011). در همین راستا، در پژوهشی مشابه با مقایسه زیست‌توده برداشت شده از هر تیمار و غلظت فسفر دانه آفتابگردان مشخص شد میزان کل فسفر برداشت شده در تیمارهای کود شیمیایی و زیستی نسبت به شاهد بیشتر بود (Zarrinchoob *et al.,* 2012). دیگر محققان گزارش کردند گونه‌های تریکودرما با ترشح اسیدهای آلی از قبیل گلوکونیک اسید، سیتریک اسید و اسید فوماریک موجب کاهش اسیدیته خاک و در نهایت سبب افزایش حلالیت و جذب آهن، منگنز، منیزیم، کاتیون‌های معدنی و فسفات برای رشد گیاه شدند (Vinale *et al.,* 2008). از طرفی، میزان کارایی کود زیستی تا میزان مشخصی از فسفر بوده که با افزایش میزان فسفر از حد مطلوب آن، از کارایی این کود کاسته می‌شود (Mansouri, 2013). تلقیح گیاهچه برنج با باکتری *Enterobacter* sp. موجب افزایش ماده خشک کل و پتاسیم جذب شده در برگ، ساقه و ریشه به‌ترتیب ۶۵/۳، ۶۹/۲، ۵۲/۹ و ۵۰/۰ درصد نسبت به شاهد شد (Bakhshandeh *et al.,* 2017). باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم عنصر پتاسیم نامحلول در خاک را به فرم قابل دسترس توتون تبدیل کرده و از طریق بهبود جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه موجب کاهش مصرف کود شیمیایی شوند (Zhang & Kong, 2014).

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌ها می‌توان بیان کرد کمترین شاخص خوابیدگی با محلول‌پاشی نانوسیلیس و عدم مصرف فسفر حاصل شد. بیشترین شاخص خوابیدگی با مصرف کود شیمایی + تقلیح با باکتری به‌دست آمد. همچنین، با محلول‌پاشی نانوسیلیس بیشترین عملکرد دانه و زیستی حاصل شد که از این نظر کاربرد خاکی سیلیکات پتاسیم و سیلیکات کلسیم به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین، حداکثر عملکرد دانه و زیستی با کاربرد ترکیبی کود + تلقیح باکتری به‌دست آمد که از این نظر نیز مصرف خالص فسفر و مصرف کود + تلقیح قارچ به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین، مصرف ترکیبی فسفر + تلقیح باکتری دارای اثر مثبت بالاتری برای جذب عناصر (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سیلیس) نسبت به مصرف خالص فسفر و همچنین مصرف ترکیبی فسفر + قارچ نشان داد که مزیت کاربرد کود شیمیایی فسفر نیز نسبت به کاربرد ترکیبی فسفر + قارچ مشهود بود. بنابراین، محلول‌پاشی نانوسیلیس به میزان ۲۰ قسمت در میلیون و مصرف ترکیبی کود شیمیایی + تلقیح بذر با باکتری می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه و بهبود جذب عناصر دانه برنج رقم طارم هاشمی شود.

References:

Abdellatif, L., Bouzid, S., Kaminskyj, S., and Vujanovic, V. 2009. Endophytic hyphal compartmentalization is required for successful symbiotic Ascomycota association with root cells. *Mycological Research, 113*: 782-791.

Abo-Ghalia, H.H., and Khalafallah, A.A. 2008. Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. *Journal of Applied Sciences Research, 4*: 570-580.

Aghababaie, F., and Raisie, F. 2011. Effect of mycorrhiza symbiosis on chlorophyll content, photosynthesis and water use efficiency in four peanut (*Arachis hypogaea*) genotypes in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Water and Soil Sciences, 15*(56), 91-101. (In Persian with English Summary)

Ahmad, A., Afzal, M., Ahmad, A.U.H., and Tahir, M. 2013. Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) *Cercetari Agronomice in Moldova, 3*(155), 114-121.

Ardakani, M.R., Rajali, F., and Heidari, S. 2012. Study the effect of arbuscular biological fertilizer on yield and yield components of rice cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology 4*(11), 1-13. (In Persian with English Summary)

Arzanesh, M.H., and Faraji, A. 2015. Effect of plant growth promoting bacteria (*Azospirillum* sp.) on physiology and yield of two oilseed rapes. *Journal of Management System, 2*: 159-171. (In Persian with English Summary)

Asghari, J., Ehteshami, S.A., Rajabi Darvishan, Z., and Khavazi, K. 2013. Investigation of spraying or root inoculation by plant growth promoting bacteria (PGPB) and their metabolits on morphophysiological indices, qualitative indices and yield in Hashemi cultivar of rice. *Journal of Plant Process and Function Iranin Society of Plant Physiology, 2*(4), 25-40. (In Persian with English Summary)

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. *Electronic Journal of Crop Production, 8*(1), 223-230. (In Persian with English Summary)

Bagheri, A.A., Saadatmand, S., Niknam, V., Nejadsatari, T., and Babaeizad, V. 2014. Effects of *Piriformospora indica* on biochemical parameters of *Oryza sativa* under salt stress. *International Journal of Biosciences (IJB), 4*(4), 24-32.

Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., and Shahsavarpour Lendeh, K.H. 2017. Phosphate and potassium-soulbilizing bactera effect on the growth of rice. *Ecological Engineering, 103*: 164-169.

Bakhshandeh, E., Rahimian, H., Pirdashti, H., and Nematzadeh, G.A. 2015. Evaluation of phosphate solubilizing bacteria on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in northern Iran. *Journal of Applied Microbiology, 119*: 1371-1382.

Behtash, F., Tabatabayi, S.J., Malakoti, M.J., Sarvaroddin, M.H., and Oostan, S.H. 2010. Effects of Zinc and cadmium on growth, chlorophyll content, photosynthesis and Cd concentration in beet. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences), 24*(1), 31-41. (In Persian with English Summary)

Bernal, J. 2008. *Response of rice and sugarcane to magnesium silicate in different soils of Colombia, South America*. Silicon in Agriculture Conference. Wild Coast Sun, South Africa, 26-31 October.

Bhavya, H.K., Nachegowda, V., Jaganath, S., Sreenivas, K.N., and Prakash, N.B. 2011. *Effect of foliar silicic acid and boron acid in Bangalore blue grapes*. The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. Beijing, China, September 13-18.

Bokhtiar, S.M. 2011. *Effects of silicon on yield contributing parameters and its accumulation in epidermis of sugarcane leaf blades using energy dispersive x-ray analysis*. The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. Beijing, China, September 13-18.

Chen, W., Yao, X., Cai, K., and Chen, J. 2010. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research, 142*: 67-76.

Dastan, S., Ghanbari Malidarreh, A., and Mobasser, H.R. 2011. *Effects of water stress and silicon application on agronomical indices, quantity yield and*

harvest index in rice (Oryza sativa). The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. Beijing, China, September 13-18.

Dastan, S., Siavoshi, M., Zakavi, D., Ghanbari Malidarreh, A., Yadi, R., Ghorbannia, E., and Nasiri, A. 2012. Application of nitrogen and silicon rates on morphological and chemical lodging related characteristics in rice (*Oryza sativa*) north of Iran. *Journal of Agriculture Science, 4*(6), 12-18.

Datnoff, L.E. 2011. *Silicon and biotic stress*. The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. Beijing, China, September 13-18.

Datnoff, L.E., Snyder, H., and Korndorfer, G.H. 2001. *Silicon in agriculture*. Studies in Plant Science. Amsterdam: Elsevier, 403p.

Ding, T.P., Tian, S.H., Gao, J.F., Wan, D.F., Sun, L., Ma, D.R., and Wu, L.H. 2011. *Silicon isotope composition of rice plants and implications for the global silicon cycle*. The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. Beijing, China, September 13-18.

Dobermann, A. 2005. *Nitrogen Use Efficiency -State of the Art*. IFA International Workshop on Enhanced - Efficiency Fertilizers Frankfurt, Germany, 28-30 June.

Eidizadeh, K.H., Mahdavi Damghani, A.M., Sabahi, H., and Soofizadeh, S. 2010. Effect of biofertilizer application along with chemical fertilizer on growth of corn (*Zea mays*) in Shoushtar. *Journal of Agroecology, 2*(2), 292-301. (In Persian with English Summary)

Estefan, G., Sommer, R., and Ryan, J. 2013. *Methods of soil, plant, and water analysis. A manual for the West Asia and North Africa region*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). P. 244.

Fageria, N.K., Moreira, A., and Coelho, A.M., 2011. Yield and yield components of upland rice as influenced by nitrogen sources. *Journal of Plant Nutrition*, *34*(3), 361-370.

Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. *Particle size analysis*. P. 383-411. In: Klute, A. (ed.) Methods of soil analysis. Partl. Soil Science Society of America. Madison, WI.

Ghanbari-Malidarreh, A., Alavi, A., and Dastan, S. 2011. *Effect of silicon and phosphorus rates on yield and yield components of rice (Oryza sativa* L.). The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. Beijing, China, September 13-18.

Ghasemi Lemraski, M., Madani, H., Rezvantalab, N., and Dastan, S. 2019. Effects

of silicon and potassium chelate nano-particheles and nitrogen rates on elements uptake and grain yield in the Local and improved varieties of rice (*Oryza sativa* L.) in Mazandaran. *Journal of Plant Ecophysiology Research, 14*(54), 60-73. (In Persian with English Summary)

Ghasemi-Mianaie, A., Mobasser, H.R., Madani, H., and Dastan, S. 2011. Silicon and potassium application facts on morphological characteristics related to lodging and quantitative yield of rice *cv.* Tarom Hashemi. *Journal of New Finding in Agriculture, 5*(4), 423-435. (In Persian with English Summary)

Greger, M., Landberg, T., Vaculik, M., and Lux, A. 2011. *Silicon influences nutrient status in plants*. The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. Beijing, China, September 13-18.

Hahn, L., Saccol, S., Filho, B.D., Machado, R.G., Damasceno, R.G., and Giongo, A. 2016. Rhizobial inoculation, alone or coinoculated with (*Azospirillum brasilense*) promotes growth of wetland rice. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 40*: 1-15.

Heidari, A., Nasri, M., and Ghoshchi, F. 2014. The study of Symbiotic of mycorhiza and phosphor fertilizer on yield and yield components of corn in Robat Karim region. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, *11*(3), 161-170. (In Persian with English Summary)

Hokmalipour, S., Mirshekari, B., Seyedsharifi, R., Farahvash, V., and Ebadi, A. 2012. Effect of seed inoculation with PGPR in different nitrogen and phosphorous fertilizer rates on leaf growth of barley (*Hordeum vulgar* L.). *Soil Research (Water and Soil Science), 26*(4), 403-413. (In Persian with English Summary)

Islam, M.S., Peng, S., Visperas, R.M., and Ereful, N. 2007. Lodging- related morphological traits of hybrid rice in a tropical irrigated ecosystem. *Field Crops Research,* 101: 240-248.

Jamshidi, E., Ghalavand, A., Sefidkon, F., and Mohammadi Goltapeh, E. 2013. Positive Effect of Fungi *Piriformospora Indica* on fennel yield, yield Components under effect of organic matter. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *23*(1/4), 143-156. (In Persian with English Summary)

Lavakush Yadava, J., Verma, J.P., Jaiswal, D.K., and Kumar, A. 2014. Evaluation of PGPR and different concentration of phophorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa* L.). *Ecological Engineering,*

62: 123-128.

Malla, R.A., Singh, M.D., Zeyaullah, V., Yadav, A., Verma, A., and Rai, M. 2002. *Piriformospora indica and plant growth promoting rhizobacteria: an appraisal*. Frontiers of Fungal Diversity in India (Prof. Kamal Festscrift). International Book Distributing Co. Lucknow, India, p. 401-419.

Mansouri, I. 2013. Response of promising line N_{8119} of wheat to application of phosphate bio-fertilizer. *Journal of Crop Improvement, 15*(1), 125-134. (In Persian with English Summary)

Mobasser, H.R., Ghanbari-Malidareh, A., and Sedghi, A.H. 2008. *Effect of silicon application to nitrogen rate and spilitting on agronomical characteristics rice* (*Oryza sativa* L.). Silicon in Agriculture Conference. Wild Coast Sun, South Africa, 26-31 October.

Molajafari, J., Ansari, M.H., and Asadi Rahmani, H. 2016. Effect of Azolla compost on nutrient uptake and grain yield of rice under PGPRs inoculated. *Applied Soil Research*, *4*(2), 91-104. (In Persian with English Summary)

Mousavi, J. 2012. *Piriformospora indica usage in resistance to blast disease of rice* (*Maganaporthe grisea*). M.Sc. thesis. Isfahan University of Technology. 125 pp. (In Persian)

Murillo-Amador, B., Jones, H.G., Kayac, V., and Aguilar, R.L. 2006. Effect of foliar application of calcium nitrate on growth and physiological attributes of cowpea (*Vigna unguiculata*) grown under salt stress. *Environmental Botany, 58*: 188-196.

Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphorous in natural waters. *Analytica Chemica Acta, 27*: 31-36.

Najafi, N., and Towfighi. H. 2014. Changes in available phosphorus and inorganic native phosphorus fractions after waterlogging in the paddy soils of north of Iran. *JWSS*, *18*(67), 151-163. (In Persian with English Summary)

Nolla, A., Faria, R.J., Korndorfer, G.H., and Silva, T.R.B. 2012. Effect of silicon on drought tolerance of upland rice. *Journal of Agriculture and Environment,* 1: 269-267.

Oelmuller, R., Sherameti, I., Tripathi, S., and Varma, A. 2009. *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. *Symbiosis, 49*: 1-17.

Prakash, N.B., and Chandrashekhar, N. 2011. *Response of rice to soil and foliar*

applied silicon sources. The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. Beijing, China, September 13-18.

Ramezani, B., and Hanifi, A. 2011. Recognition of geographical diffusion of stomach cancer in Gilan province. *Journal of Environmental Science and Technology, 13*(2), 79-91. (In Persian with English Summary)

Samonte, S.O., Wilson, L.T., Medley, J.C., Pinson, S.R.M., McClung, A.M., and Lales, J.S. 2006. Nitrogen Utilization efficiency: relationships with grain yield, grain protein, and yield-related traits in rice. *Agronomy Journal, 98*: 168-176.

Shoresh, M., Harman, G.E., and Mastouri, F. 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology, 48*: 21-43.

Wang, D.J., and Du, F.B. 2011. *Agronomic effects of silicon-potash fertilizer in wheat/maize and wheat/ soybean rotation system during 2008-2010*. The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. Beijing, China, September 13-18.

Yimamu, F. 2008. *Silicon status and its relationship with major physicochemical properties of soils in the northern highlands of Ethiopia*. Silicon in Agriculture Conference. Wild Coast Sun, South Africa, 26-31 October.

Zhang, C., and Kong, F. 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. *Applied Soil Ecology, 82*: 18-25.

Zhang, G.Y., Zhang, L.P., Wei, M.F., Liu, Z., Fan, Q.L., Shen, Q.R., and Xu, G.H. 2011. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi, organic fertilizer and soil sterilization on maize growth. *Acta Ecologica Sinica*, 31: 192-196.

Zhu, F., Qu, L., Hong, X., and Sun, X. 2011. *Isolation and characterization of a phosphate-solubilizing halophilic bacterium Kushneria sp*. YCWA18 from Daqiao Saltern on the coast of Yellow Sea of China. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine 2011: 1-6.

Interaction of silicon and phosphorous fertilizer on lodging related traits and qualitative and quantitative parameters of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Tarom Hashemi

Fatemeh Abdi[1] ,Yosef Niknezhad[2] ,Hormoz Fallah[2], Salman Dastan[3*] , Davood Barari Tari[2]

1. Ph.D. student, Department of Agronomy, AyatollahAmoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. .
2. Assist. Prof.,Department of Agronomy, AyatollahAmoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
3. Postdoctoral Research Scholar, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj. (Corresponding author)

Received: May 2019 Accepted: August 2020 - DOI: 10.22092/aj.2019.126116.1400

Extended Abstract

Abdi, F., Nikneshan, Y., Fallah, H., Dastan, S., Barari Tari, D., Interaction of silicon and phosphorous fertilizer on lodging related traits and qualitative and quantitative parameters of rice (Oryza sativa L.) cv. Tarom Hashemi
Applied Research in Field Crops Vol 33, No. 2, 2020 8-10: 46-68(in Persian)

Introduction

One of the major problems in the paddy fields of Mazandaran province is the low solubility and availability of phosphorus. This essential macro-element is added to the soil as phosphorus fertilizer; but, the major portion of it is immobilized due to fixation in the soil and therefore it becomes unavailable for the crop plants. As a consequence, farmers are turning to intensive farming and high consumption of chemical inputs (Ramezani & Hanifi, 2011). Thus, to solve this problem, the plant growth promoting rhizobacteria (PGPB) and plant growth promoting fungi (PGPF) in the rhizosphere as well as phosphate solubilizing bacteria (PSB) and phosphate solubilizing fungi (PSF) can be considered as a solution to provide the crops with the required phosphorus amounts (Lavakush *et al.,* 2014). The other key solution to solving this problem is the application of silicon fertilizer sources, which can be very beneficial. In fact, silicon increases phosphate uptake from the soil due to its synergistic absorption enhancement of phosphorus. In addition, silicon application reduces plant lodging and decreases pests and diseases

Email address of the corresponding author: yousofniknejad@gmail.com

infestation in crops (Datnoff, 2011). Hence, this research was aimed to investigate the interaction of silicon and phosphorus fertilizer resources on the lodging indices and quantitative and qualitative yield parameters of rice.

Materials and Methods:

The experiment was conducted as split plots based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications in Amol region during 2017 and 2018. Four silicon fertilizer treatments including control (non- application), spray of nano-silicon, soil application of potassium silicate and soil application of calcium silicate were used as main plots and four levels of phosphorus fertilizer including control (non-application), chemical fertilizer (100 kg P_2O_5 ha^{-1}), 50 kg P_2O_5 ha^{-1} + *Herbaspirillum seropodicae* bacteria inoculation and 50 kg P_2O_5 ha^{-1} + mycorrhiza fungi (*Gholusmosseae*) inoculation were used as sub plots. During the growing period, after the edge plots were excluded, plant traits were randomly measured according to the Standard Evaluation System (SES) of the International Rice Research Institute (IRRI). All the statistical analysis was performed using the SAS software. A two-way analysis of variance (ANOVA) was used by GLM procedure and the least significant difference (LSD) test was used to compare the differences among the treatment means at a 5% probability level.

Results and Discussion:

In order to investigate the effect of silicon and phosphorus application on rice in the two years of the experiment, the data were first evaluated by the Bartlett variance homogeneity test. The results demonstrated that all the investigated traits were non-significant in the Bartlett's test, for which the combined analysis of variance was performed. The lowest lodging index was obtained by spraying nano-silicon. The highest lodging index was obtained by using chemical fertilizer + bacterial inoculation. The highest grain yield (5147 kg ha^{-1}) was obtained with the spraying of nano-silicon + chemical fertilizer + bacterial inoculation, in this regard, the next best treatment was the application of chemical fertilizer along with chemical fertilizer + fungi inoculation. Spray of nano-silicon leads to a higher uptake of nutrient (Si, N, P and K) and improves qualitative and quantitative yields as compared to soil application of potassium silicate and calcium silicate, in this

regard, potassium silicate and calcium silicate ranked second and third, respectively. In addition, the combined application of phosphorus + bacterial inoculation had higher positive effect on nutrients (Si, N, P and K) uptake than the use of chemical phosphorus along with phosphorus + fungi inoculation.

Conclusion:

According to the findings of this study, it can be concluded that the spray of nano-silicon along with the application of chemical fertilizer + bacterial inoculation can increase the quantitative and qualitative yields of rice and control the blast disease in the grain fields.

Keywords: *Herbaspirillum* bacteria, inoculation, mycorrhiza fungi, nano-silicon, nutrient utilization efficiency

References:

Datnoff, L.E. 2011. *Silicon and biotic stress*. The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. Beijing, China, September 13-18.

Lavakush Yadava, J., Verma, J.P., Jaiswal, D.K., and Kumar, A. 2014. Evaluation of PGPR and different concentration of phophorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa* L.). *Ecological Engineering, 62*: 123-128.

Ramezani, B., and Hanifi, A. 2011. Recognition of geographical diffusion of stomach cancer in Guilan province. *Journal of Environmental Science and Technology, 13*(2), 79-91. (In Persian with English Summary)