نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۱(۵۷)، بهار ۱۴۰۰، صفحه ۵۶-۳۷

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2021.681005

اثر نانوکودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر رشد و عملکرد دو رقم برنج (*Oryza sativa* L.)

سیدتقی ساداتی ولوجائی[۱]، یوسف نیک‌نژاد[۲*]، هرمز فلاح[۲] و داوود براری تاری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۳

چکیده

مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد برنج و سایر محصولات زراعی نقش کلیدی دارد. استفاده از نانوکودها می‌تواند گامی مؤثر در مصرف بهینه کود در سیستم‌های زراعی و دست‌یابی به کشاورزی پایدار باشد. اثر محلول‌پاشی نانوکودها و مقایسه آنها با کودهای شیمیایی رایج N.P.K بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد برنج در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در شهرستان ساری، استان مازندران بررسی شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل دو رقم برنج (طارم محلی و شیرودی) و عامل فرعی تیمار کودی در ۱۰ سطح شامل شاهد (بدون مصرف کود)، کودهای رایج نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K) و کود کامل (NPK) و نانو کودهای: نیتروژن (Nano-N حاوی ۱۷ درصد کلات نیتروژن)، فسفر (Nano-P حاوی ۱۷ درصد کلات فسفر)، پتاسیم (Nano-K حاوی ۲۷ درصد کلات پتاسیم) و کود کامل (Nano-NPK) و همچنین کاربرد همزمان NPK و Nano-NPK (NPK+Nano-NPK) بودند. نتایج نشان داد در هر دو رقم مورد بررسی، استفاده از کودهای رایج و نانوکودها از جمله کاربرد NPK و Nano-NPK صفات رویشی و عملکرد و اجزای عملکرد برنج را افزایش دادند. در اکثر سطوح کودی (کودهای نیتروژن، پتاسیم و کود کامل) در رقم طارم محلی و فسفر، پتاسیم و کود کامل در رقم شیرودی) استفاده از نانوکود در مقایسه با مصرف کود رایج اثر بهتری داشته و عملکرد شلتوک را افزایش دادند، هرچند این افزایش فقط در کاربرد Nano-NPK نسبت به NPK معنی‌دار بوده و در رقم طارم محلی و شیرودی به‌ترتیب برابر ۲۲/۵۴ و ۱۰/۱۲ درصد بود. از آنجایی که کاربرد کودهای شیمیایی برای به‌دست آوردن عملکرد مناسب در گیاهان انکارناپذیر است، از این رو استفاده از نانوکودها به‌ویژه تیمار Nano-NPK می‌تواند راهکار مناسبی برای بهینه کردن مصرف کود در مزارع برنج باشد.

واژگان کلیدی: اجزای عملکرد، برنج، صفات مورفولوژیک، کود رایج، نانوکود.

۱-دانشجوی دکتری زراعت، واحد آیت‌اله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

۲-استادیار گروه زراعت، واحد آیت‌اله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

*** نگارنده‌ی مسئول** yousofniknejad@gmail.com

مقدمه

در چند دهه اخیر، افزایش تقاضای مواد غذایی برای جمعیت در حال رشد جهان و از سویی محدودیت سطح زیر کشت محصولات زراعی باعث شده است که برنامه‌های اقتصادی کشورهای مختلف در جهت دست‌یابی به منابع غذایی جدید، به افزایش عملکرد گیاهان زراعی از جمله برنج و بهره‌برداری مناسب از پتانسیل‌های موجود در زمینه کشاورزی هدایت شوند (Noor Mohammadi *et al.*, 2010; Pirdashti *et al.*, 2012; Yaghoubian *et al.*, 2012; Hasani *et al.*, 2013). دست‌یابی به افزایش بازدهی محصولات کشاورزی به روش‌های مختلف امکان پذیر است که ساده‌ترین راه آن استفاده بهینه از کودهای ماکرو و میکرو در خاک می‌باشد. به عبارت دیگر مصرف بهینه کود به‌عنوان یکی از عوامل محدود کننده، نقش کلیدی در افزایش عملکرد برنج و سایر محصولات زراعی ایفا می‌کند (Mazaherinia *et al.*, 2011; Yaghoubian *et al.*, 2014; Erfani et al., 2020). چرا که کودهای شیمیایی رایج بلافاصله پس از کاربرد به مقدار زیادی در خاک آزاد می‌شوند و به‌همین دلیل مقدار زیادی از آن از دسترس گیاه خارج می‌شود. بر اساس برآوردها حدود ۵۰-۴۰ درصد از کودهای نیتروژنه، ۹۰-۷۵ درصد از کودهای فسفره و ۵۰-۴۰ درصد از کودهای پتاسه استفاده شده از دسترس گیاه خارج می‌شوند (Alesaadi *et al.*, 2017). بنابراین، فناوری نانو فرصت‌های جدیدی را به‌منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به‌حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست، فراهم نموده است (Naderi and Abedi, 2012). نانو کودها به‌صورت کامل جذب گیاه شده و به‌خوبی نیازها و کمبودهای غذایی را رفع می‌کند. از مزایای استفاده از نانوکودها می‌توان به مواردی چون قیمت کم، تأثیر بالا، قابلیت حل‌پذیری زیاد در آب و کنترل‌پذیری بیشتر اشاره نمود (Kochaki and Hosseini, 2011).

پژوهش‌های به‌عمل آمده بر تأثیر نانو کودها بر افزایش راندمان ورودی- خروجی در تولید محصولات زراعی از طریق بهبود کارایی جذب کود اشاره دارد (Cui *et al.*, 2006; Shargi and Khalilvand Behrouzyar, 2019). نانو کودها راندمان مصرف بالایی دارند و می‌توانند به‌صورت مطلوب در نقطه‌ی مناسبی از ناحیه‌ی رشد ریشه عناصر غذایی خود را آزاد کنند (Lai, 2007). علاوه بر آن در نانو کودها از علم فناوری نانو به‌عنوان ابزاری جهت همزمان کردن رهاسازی عناصر غذایی کودهای فسفره و نیتروژنه با جذب آنها به‌وسیله‌ی گیاه و ممانعت از برهم‌کنش عناصر غذایی با خاک، میکروارگانیسم‌ها و آب و هوا استفاده می‌شود (Monreal, 2010).

در آزمایشی اثر مصرف سطوح مختلف نانوکود پتاسیم روی سویا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد خاکی نانوکود پتاسیم به‌ویژه در سطح ۱۵ کیلوگرم، سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن هزار دانه، زیست‌توده، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه و همچنین صفات کیفی دانه گردید (Rostami ajirloo and Amiri, 2018). ستوده‌مرام و قیاصی (Sotoudeh Maram and Ghiasi, 2018) نیز در بررسی اثر تغذیه برگی انواع نانوکودهای ماکرو و میکرو بر خصوصیات رشدی چغندرقند بذری، افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول و عرض بیوماس برگ گیاه را در اثر کاربرد نانوکودهای مختلف به‌ویژه نانوکود پتاسیم و نانوکود کامل NPK گزارش نمودند. قاسم‌زاده و

همکاران (Ghasemzadeh *et al.*, 2012) در بررسی اثرات نانو کود کلات پتاسیم بر تولید مینی تیوبر سیب زمینی، گزارش کردند که استفاده از نانو کود پتاسیم در مرحله رویشی و نیز رویشی + غده بندی، موجب افزایش تعداد مینی تیوبرها، مینی تیوبرهای بزرگ‌تر از ۵ گرم و عملکرد گیاه سیب‌زمینی شد و با تیمار شاهد و کوددهی در مرحله‌ی غده‌بندی تفاوت معنی‌داری داشت. در این رابطه اکینسی و همکاران (Ekinci *et al.*, 2014) در مطالعه‌ای بر روی خیار نشان دادند که استفاده از کود نانو به‌طور قابل توجهی عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد. آنها پیشنهاد کردند که استفاده از محلول‌پاشی نانو کود مایع می‌تواند رشد و عملکرد گیاه را بهبود بخشد. طرفدار (Tarafdar, 2012) در گیاه گوار، طرفدار و همکاران (Tarafdar *et al.*, 2012) در ارزن مروارید افزایش قابل توجهی در عملکرد را به‌دلیل استفاده از کود نانو نشان دادند. آنها گزارش کردند که استفاده از محلول‌پاشی نانو فسفر ۶۴۰ میلی‌گرم در هکتار باعث تولید محصولی معادل شرایط استفاده از ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر در خاک می‌شود. در همین زمینه، استفاده از ذرات نانواکسید آهن، سرعت فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاهان بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) و سویا (*Glycine max* L.) را افزایش داد (Liu *et al.*, 2005). سایر بررسی‌ها اثر معنی‌دار استفاده از ذرات نانواکسید روی را در مقایسه با کاربرد سولفات روی بر رشد و عملکرد بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) نشان داد (Prasad *et al.*, 2012). در تحقیق دیگری، نانواکسید آهن عملکرد و کیفیت گیاه گندم را در مقایسه با کلات آهن و سولفات آهن افزایش داد (Harsinia *et al.*, 2014). بنزن و همکاران (Benzon *et al.*, 2015) نشان دادند که عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج در شرایط استفاده ترکیبی از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌صورت نانو و مرسوم افزایش می‌یابد.

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر محلول پاشی نانو کودهای نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کاربرد همزمان آنها و همچنین مقایسه آن با کاربرد کودهای شیمیایی رایج بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم برنج طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در مزرعه زارع در شهرستان ساری، استان مازندران با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و۳۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۲/۵ متر از سطح دریا و به‌صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل دو رقم برنج طارم محلی و شیرودی و عامل فرعی شامل ۱۰ سطح کودهای شیمیایی نیترون، فسفر و پتاسیم رایج و نانوکودهای نیترون، فسفر و پتاسیم بود که به‌صورت جداگانه و ترکیب با یکدیگر (جدول ۱) مصرف شدند. مقادیر کودهای رایج نیتروژن، فسفر (P_2O_5) و پتاسیم (K_2O) در تیمارهای کودی بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۲) و دستورالعمل فنی ارایه شده از موسسه تحقیقات برنج کشور (Anonymus, 2018) و بر اساس نوع تیمار کودی مصرف گردید. بر این اساس، ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره، ۷۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۹۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم جهت اعمال تیمارهای کاربرد کود شیمیایی رایج در نظر گرفته شد. کودهای نانو نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس تیمارهای کودی و در سه مرحله (اوایل پنجه‌دهی، اوایل گلدهی و موقع پر شدن دانه) به‌صورت

محلول‌پاشی و با غلظت دو در هزار اعمال شدند. آمار هواشناسی در طول دوره رشد برنج برای سال‌های آزمایش در جدول ۳ ارایه شده است.

رقم‌های مورد استفاده در آزمایش، طارم محلی و شیرودی بود که باتوجه به سطح کشت بالای آنها در استان مازندران و نیز تفاوت‌های موجود در خصوصیات رشدی، طول دوره رشد و عملکردی، عکس‌العمل این دو رقم به تیمارهای کودی مورد بررسی قرار گرفت. رقم طارم محلی جزو ارقام زودرس (حدود ۹۰ روز) و پابلند (با ارتفاع ۱۴۲/۵ سانتی‌متر) بوده که در رده ارقام کیفی و با عملکرد پایین (۴/۲ – ۳/۸ تن در هکتار) قرار می‌گیرد و بیشترین سطح زیر کشت برنج را در سطح استان مازندران (حدود ۴۱ درصد) به خود اختصاص داده است (Anonymus, 2015). رقم شیرودی جزو ارقام متوسطرس (۱۰۴ روز) با ارتفاع ۱۰۶ سانتی‌متر بوده که با عملکرد ۵-۸/۵ /۶ تن در هکتار در رده ارقام پرمحصول قرار داد.

ابعاد کرت‌ها ۳×۳ متر و فواصل کپه‌ها نیز ۲۵×۲۵ سانتی‌متر بود که در هر کپه سه نشا کشت گردید. هر کرت به‌وسیله پشته‌هایی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر جدا شده بودند. نشاها در مرحله سه الی چهار برگی، زمانی که ارتفاع نشاها به ۲۰ سانتی‌متر رسید، به زمین اصلی انتقال داده شدند. علاوه بر این، بر اساس دستورالعمل فنی مؤسسه تحقیقات برنج کشور (Anonymus, 2018)، وجین دستی برای کنترل علف‌های هرز در دو مرحله ۱۵ و ۲۵ روز پس از نشا انجام شد. برای کنترل کرم ساقه‌خوار برنج نیز از امولسیون دیازینون ۶۰ درصد به مقدار یک در هزار در دو نوبت استفاده شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه، مساحت یک مترمربع از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای کف‌بر و صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد شلتوک (تن در هکتار) و وزن هزار دانه (گرم) اندازه‌گیری شده و شاخص برداشت با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

رابطه ۱ شاخص برداشت = (عملکرد اقتصادی / عملکرد بیولوژیک) × ۱۰۰

جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک (شامل ارتفاع بوته، طول خوشه، طول میانگره انتهایی، طول اکستراژن (فاصله بین قاعده خوشه و برگ پرچم)، طول و سطح برگ پرچم و تعداد برگ در بوته) و همچنین سایر اجزای عملکرد (شامل تعداد خوشه‌چه در خوشه، تعداد دانه در خوشه، درصد باروری دانه، تعداد پنجه در بوته و درصد باروری پنجه) نیز تعداد ده بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند.

آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش کولموگروف-اسمیرنوف انجام گرفت. جهت ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی آزمون بارتلت انجام گرفت که نتایج کای اسکوار نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال بود، بنابراین تجزیه واریانس به‌صورت مرکب انجام شد. در این راستا اثر سال و در نتیجه اثر متقابل سال با سایر عوامل مورد بررسی به‌صورت تصادفی در نظر گرفته شد و سایر اثرات ثابت بودند. برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد. میانگین‌ها به‌روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند، همچنین برای انجام مقایسه میانگین اثرات متقابل از روش برش‌دهی فیزیکی استفاده شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب روی داده‌های مربوط به صفات مورفولوژیک آزمایش (جدول ۴) نشان داد که اثر اصلی سال در سطح برگ پرچم و طول میانگره انتهایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی تیمار کودی نیز بر تمام صفات مورد بررسی به‌جز طول اکستراژن، در سایر صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته (در سطح احتمال یک درصد)، طول خوشه، طول برگ پرچم، طول میانگره انتهایی، تعداد برگ در بوته و سطح برگ پرچم (در سطح احتمال پنج درصد) معنی‌دار بود. همچنین برهمکنش رقم در تیمار کودی نیز برای ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد و برای صفات طول برگ پرچم، سطح برگ پرچم و میانگره انتهایی در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری داشت. با این‌حال، اثر ساده رقم و همچنین برهمکنش سال در رقم، سال در کود و برهمکنش سه‌گانه (سال، رقم و کود) در هیچ یک از صفات مورفولوژیک مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۴).

نتایج نشان داد که طول برگ پرچم در سال دوم آزمایش و طول میانگره انتهایی در سال اول آزمایش به‌ترتیب با ۳۲/۶۷ سانتی‌متر مربع و ۵۰/۸۳ سانتی‌متر بیشترین مقدار خود را داشتند (نتایج ارایه نشده است). این تغییرات می‌تواند ناشی از تفاوت آب و هوایی در دو سال آزمایش باشد. براساس یافته‌ها، طول خوشه و تعداد برگ در بوته تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفته و در شرایط کاربرد انواع تیمارهای کودی نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد که این افزایش در طول خوشه و در تیمارهای کودی نیتروژن رایج، نانو فسفر، NPK رایج و نانو و همچنین NPK+Nano-NPK معنی‌دار بود. تعداد برگ در بوته نیز به‌جز در تیمارهای کودی نانو فسفر و فسفر رایج در سایر تیمارها افزایش معنی‌داری نشان داد. بیشترین طول خوشه (۲۷/۴۲ سانتی‌متر) در شرایط کاربرد همزمان NPK به‌صورت رایج و نانو مشاهده شد. بیشترین تعداد برگ در بوته (۵۷/۴۸ برگ) نیز در تیمار مصرف نانوکود NPK به‌دست آمد که با NPK رایج و NPK+Nano-NPK در یک سطح آماری قرار داشت (جدول ۵). کاربرد عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ویژه در شرایط کاربرد همزمان آنها می‌تواند باعث بهبود صفات مورفولوژیکی و افزایش رشد رویشی گیاه گردد. به‌عنوان مثال؛ نیتروژن می‌تواند در مراحل رشد رویشی به‌خصوص پنجه‌زنی و زایشی با افزایش تعداد و سطح برگ و درنتیجه افزایش فتوسنتز و شیره پرورده، باعث بهبود شاخص‌های رشد گیاه برنج شود (Fallah *et al.*, 2018). پتاسیم نیز به دلیل نقش مثبت K^+ در پایداری آنزیم‌ها و پروتئین‌ها می‌تواند باعث تحریک پنجه‌زنی، افزایش تعداد برگ و رشد رویشی گیاه شود (Mazaherinia *et al.*, 2011). در آزمایش توان و همکاران (Tavan *et al.*, 2014) که اثر محلول‌پاشی با چهار غلظت (صفر تا ۰/۶ درصد) نانو کود پتاسیم بر گندم را مورد بررسی قرار دادند، کود نانوپتاسیم افزایش معنی‌دار تعداد برگ را به‌دنبال داشت. همچنین، در مورد فسفر نیز گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مثبت این عنصر به‌صورت سوپرفسفات تریپل بر رشد و عملکرد محصولات زراعی وجود دارد (Mohammadi Kashka, *et al.*, 2017 & 2018a). هرچند در هیچ‌یک از انواع کودهای مورد استفاده تفاوت معنی‌داری بین کود شیمیایی رایج و نانوکود وجود

نداشت ولی بیشترین اختلاف بین این دو در کاربرد کود کامل مشاهده شد که استفاده از Nano-NPK تعداد برگ در بوته را حدود ۱۳ درصد نسبت به کاربرد NPK رایج افزایش داد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد که این نتیجه به‌دلیل سرعت جذب بالاتر و کامل‌تر کودهای نانو نسبت به کودهای شیمیایی رایج باشد (Rostami ajirloo and Amiri, 2018).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تیمار کودی به روش برش‌دهی فیزیکی بر صفات مورفولوژیک (جدول ۶) نشان داد که اثر تیمارهای کودی در هر دو رقم مورد بررسی، بر ارتفاع بوته، طول برگ پرچم، سطح برگ پرچم و طول میانگره انتهایی مؤثر بوده و در شرایط استفاده از کودهای شیمیایی رایج و نانو کودها، به‌ویژه عنصر نیتروژن یا ترکیب سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در قالب تیمارهای NPK، Nano-NPK و NPK+Nano-NPK نسبت به تیمار شاهد افزایش یافتند که این افزایش در برخی تیمارها معنی‌دار و در برخی غیرمعنی‌دار بود. رقم طارم محلی در تمام سطوح کودی نسبت به رقم شیرودی از ارتفاع بوته بالاتری برخوردار بود که این اختلاف به تفاوت‌های ژنتیکی دو رقم مربوط می‌شود. در رقم طارم محلی، بیشترین ارتفاع بوته به‌ترتیب در تیمارهای NPK (۱۵۲/۷ سانتی‌متر)، Nano-NPK (۱۴۷/۷ سانتی‌متر) و NPK+Nano-NPK (۱۴۰/۲ سانتی‌متر) به‌دست آمد که به‌ترتیب ۲۸/۸۳، ۲۴/۶۱ و ۱۸/۲۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. این در حالی است که در رقم شیرودی بیشترین ارتفاع بوته (۱۱۰/۳ سانتی‌متر) در شرایط کاربرد همزمان کود شیمیایی رایج و نانو (NPK+Nano-NPK)، NPK و Nano-NPK به‌ترتیب با ۴۲/۰۶، ۳۰/۲۶ و ۲۷/۲۵ درصد اختلاف نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. در سطح برگ پرچم و طول میانگره انتهایی نیز نتایج مشابهی حاصل شد. علاوه بر آن، کاربرد Nano-N و کود نیتروژن رایج نسبت به سایر سطوح کودی (کودهای پتاسیم و فسفر) اثر بهتری نشان داد که بیانگر وابستگی بالاتر این صفات به عنصر نیتروژن می‌باشد. به‌طورکلی، میزان نیتروژن از طریق تعیین ظرفیت عملکرد در دو مرحله نمو رویشی و اوایل مرحله زایشی و همچنین از طریق افزایش سطح برگ بر عملکرد برنج تأثیر می‌گذارد (Faraji *et al.*, 2012). طول برگ پرچم نیز تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت به‌طوری‌که در رقم طارم محلی استفاده از کودهای Nano-N و Nano-NPK و در رقم شیرودی Nano-P، Nano-K و NPK افزایش طول برگ پرچم را به دنبال داشت (جدول ۶). تحقیقات نحوی و همکاران (Nahvi *et al.*, 2005) نشان داده است که افزایش مصرف نیتروژن در برنج اثر معنی‌داری بر رشد رویشی و ارتفاع بوته داشته است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در مورد کود پتاسیم نیز گزارش شده است که رابطه تنگاتنگی بین پتاسیم، رشد بافت‌های مریستمی و نیز تقویت اثر این عنصر بر هورمون‌های رشد نظیر جیبرلین و اکسین وجود دارد که این امر رشد طولی سلول‌ها و در نتیجه رشد اندام‌های گیاهان را به‌دنبال داد (Shabala, 2003). توان و همکاران (Tavan *et al.*, 2014) نیز نتایج مشابهی را در کاربرد نانوکود پتاسیم در گیاه گندم گزارش نمودند. رسمتی اجیرلو و همکاران (Rostami Ajirloo and Amiri, 2018) نیز در بررسی اثر سطوح مختلف نانوکود پتاسیم بر تحت شرایط قطع آبیاری بر گیاه سویا، افزایش صفات مورفولوژیک از جمله ارتفاع بوته، تعداد

برگ در بوته و تعداد شاخه‌های جانبی گیاه را در اثر استفاده از نانو کود پتاسیم در تمام سطوح قطع آبیاری گزارش نمودند. در مورد کود فسفر نیز نتایج این آزمایش با نتایج محمدی کشکا و همکاران (Mohammadi Kashka, *et al.*, 2018c) مطابقت دارد. ایشان نیز افزایش رشد گیاه را در اثر کاربرد کود فسفر گزارش کردند. در هر دو رقم مورد بررسی، گیاهان محلول‌پاشی شده با نانو کود نیتروژن دارای ارتفاع بوته، طول برگ پرچم و طول میان‌گره انتهایی بالاتری نسبت به گیاهان تیمار شده با کود نیتروژن بودند. هرچند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد. نانوکود فسفر نسبت به فسفر رایج طول برگ پرچم را در رقم شیرودی به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. نانو کود پتاسیم نیز ارتفاع بوته را در هر دو رقم طارم محلی و شیرودی و طول برگ پرچم را در رقم شیرودی به‌صورت معنی‌داری نسبت به پتاسیم رایج افزایش داد (جدول ۶). آل‌سعدی و همکاران (Alesaadi *et al.*, 2017) اثر کود نانو پتاس و سولفات پتاسیم را در گیاه گوجه‌فرنگی مورد مقایسه قرار داده و دریافتند که رشد رویشی گیاه در کاربرد نانو کود پتاسیم به‌صورت قابل توجهی بهتر از کود رایج پتاسیم بوده است. جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh *et al.*, 2013) نیز در تحقیقی تأثیر نانوکودهای ماکرو مغذی بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای را مثبت گزارش کرده و علت این امر را به جذب سریع و کارآمد کودهای نانو توسط گیاه نسبت دادند. همچنین، باتوجه به نقش کودهای ماکرو در افزایش رشد و عملکرد گیاه و جذب سریع‌تر عناصر ماکرو از نانوکودها، افزایش رشد گیاه منطقی به‌نظر می‌رسد. گزارش شده است که استفاده از نانولایه‌های کنشی در طراحی و ساخت کودهای شیمیایی جدید، منجر به افزایش قابل ملاحظه کارایی مصرف عناصر غذایی و متعاقباً رشد و عملکرد محصول گردید (De Rosa *et al.*, 2010).

عملکرد و اجزای عملکرد: بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد (جدول ۷)، اثر سال بر تعداد خوشه‌چه در خوشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر رقم نیز بر تعداد دانه در خوشه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد و درصد باروری دانه، تعداد پنجه در بوته، عملکرد شلتوک و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین تیمار کود در صفات تعداد دانه در خوشه، تعداد پنجه در بوته، درصد باروری پنجه عملکرد شلتوک، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت اثر معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) داشت. همچنین، وزن هزار دانه تحت تأثیر برهمکنش سال در رقم ($P<۰/۰۵$) و عملکرد شلتوک ($P<۰/۰۱$)، عملکرد بیولوژیک ($P<۰/۰۵$) و شاخص برداشت ($P<۰/۰۵$) تحت تأثیر برهمکنش رقم در کود قرار گرفتند (جدول ۷).

مقایسه میانگین بین دو رقم برنج در اجزای عملکرد نشان داد که از بین دو رقم برنج مورد بررسی در آزمایش، رقم شیرودی دارای تعداد دانه در خوشه، درصد باروری دانه و تعداد پنجه در بوته بالاتری نسبت به رقم طارم محلی بود که به‌دلیل تفاوت‌های ژنتیکی بین این رقم‌ها می‌باشد. کاربرد کودهای رایج و نانوکودها، تعداد دانه در خوشه را تحت تأثیر قرار داد. به‌طوری‌که، در تمام سطوح کودی به‌جز کود رایج فسفر افزایش معنی‌دار تعداد دانه در خوشه را نسبت به شاهد به‌دنبال داشت. بیشترین افزایش تعداد دانه در خوشه در کاربرد

کود NPK به‌صورت رایج، نانو و کاربرد همزمان رایج و نانو به‌دست آمد که نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۲۴/۵۴، ۳۳/۴۱ و ۳۳/۶۶ درصدی نشان دادند (جدول ۸). تعداد پنجه در بوته و درصد باروری پنجه نیز به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر مصرف کودها قرار گرفت (جدول ۸) مقایسه میانگین صفات یاد شده بیانگر تأثیر مثبت کودهای مصرف شده بر قدرت پنجه‌زنی و درنتیجه تولید خوشه در برنج است. هرچند تعداد پنجه در بوته تنها در کاربرد نانوکود NPK و همچنین کاربرد همزمان رایج و نانو NPK معنی‌دار بود ولی درصد باروری پنجه در تمام تیمارهای کودی بجز نانو کود فسفر افزایش معنی‌داری نشان داد. در این زمینه، نتایج مطالعه حاضر با نتایج موسوی و همکاران (Moosavi *et al.*, 2014) روی برنج مطابقت دارد. در آزمایش سینگ و جین (Singh and Jain, 2000) نیز بالاترین تعداد پنجه در بالاترین سطح کودی مورد استفاده برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم که به ترتیب ۲۰۰، ۱۰۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار بود، به‌دست آمد. کواتروباس و نتانوس (Koutroubas and Ntanos, 2003) طی مطالعه‌ای، سهم تعداد خوشه در واحد سطح در تغییرات عملکرد دانه را بیشتر از ۵۰ درصد اعلام کردند. هی و همکاران (He *et al.*, 1992) با تجزیه رگرسیونی داده‌ها گزارش نمودند که درصد باروری خوشه و درنتیجه تعداد خوشه در واحد سطح، بیشترین مشارکت را در عملکرد دارد. بیشترین مقادیر صفات یاد شده در تیمارهای کودی کاربرد کود کامل NPK (کود رایج NPK و Nano-NPK) و کاربرد همزمان NPK نانو و رایج حاصل شد. به نظر می‌رسد که مصرف بیشتر کودها و به‌ویژه کود نیتروژن عمدتاً از طریق افزایش توان فتوسنتزی گیاه و تأمین مواد فتوسنتزی به‌دلیل افزایش شاخص و دوام سطح برگ و نیز باروری بیشتر گل‌آذین، باعث افزایش تعداد پنجه، باروری پنجه و در نتیجه تعداد خوشه شده و در نهایت امکان تشکیل دانه‌های بیشتر و عملکرد بالاتر در واحد سطح را فراهم کرده است. موسوی و همکاران (Moosavi *et al.*, 2014) نیز در مورد اثر سطوح کود نیتروژن روی عملکرد و اجزای عملکرد برنج، نتایج مشابهی را گزارش نمودند. در آزمایش‌های دیگری نیز اثر مثبت کودهای شیمیایی بر عملکرد محصولات زراعی گزارش شده است (Mohammadi Kashka, *et al.*, 2017 & 2018a) گزارش شده است. هرچند که در آزمایش محمدی و همکاران (Mohammadi Kashka, *et al.*, 2018b) استفاده از کود فسفر اثر معنی‌داری روی صفات برنج نداشت.

تقریباً در تمام موارد تفاوت معنی‌داری بین کودهای رایج و کاربرد نانوکودها مشاهده نشد و استفاده از عناصر به‌صورت محلول‌پاشی نانو توانست نیاز کودی گیاه را در حد کود رایج جبران کند که بیانگر توانایی نانوکودها در تأمین مطلوب عناصر مورد نیاز گیاه می‌باشد (جدول ۸). این در حالی است که مقدار کود مصرفی در شرایط استفاده از نانو کودها به‌ویژه در شرایط محلول‌پاشی بسیار کمتر است ولی با اینحال استفاده از نانوکودها توانسته است نیاز کودی گیاه را برابر با کود رایج تأمین کند، چرا که نانو کودها به‌منظور رهاسازی تدریجی محتویات غذایی خود به‌گونه‌ای که زمان آزادسازی آنها با نیاز غذایی محصول منطبق باشد، طراحی و ساخته شده‌اند (Naderi and Danesh-Shahraki, 2011).

وزن هزار دانه در هر دو سال آزمایش در رقم طارم محلی نسبت به رقم شیرودی در سال اول و

دوم آزمایش به‌ترتیب ۱۹/۳۵ و ۹/۷۳ بالاتر بود (جدول ۹). نتایج این آزمایش در مورد وزن هزار دانه دو رقم طارم و شیرودی با نتایج امینی دهقی و همکاران (Amini Dehaghi *et al.*, 2018) مطابقت دارد. ایشان نیز در آزمایش خود وزن هزار دانه بالاتر رقم طارم را نسبت به رقم شیرودی گزارش نمودند.

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تیمار کودی به روش برش‌دهی بر عملکرد شلتوک، حاکی از اثر معنی‌دار تیمارهای کودی در هر دو رقم (طارم محلی و شیرودی) بود (جدول ۱۰)، به‌طوری‌که در رقم طارم محلی بیشترین عملکرد شلتوک به‌ترتیب در تیمار کاربرد Nano-NPK (۵/۰۶ تن در هکتار)، Nano-NPK+NPK (۴/۵۱ تن در هکتار) و NPK (۴/۱۳ تن در هکتار) به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد بین ۸۲ تا ۱۲۲ درصد افزایش داشتند. از نظر آماری بین تیمار کودی Nano-NPK با Nano-NPK+NPK تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی تیمار Nano-NPK نسبت به NPK اختلاف معنی‌داری داشته و حدود ۲۲ درصد افزایش نشان داد. نانو کودها در مقایسه با کودهای متداول شیمیایی، راندمان مصرف بالاتری دارند و می‌توانند به‌صورت مطلوب در نقطه مناسبی از ناحیه رشد، عناصر غذایی خود را آزاد کنند که این عمل اثر معنی‌داری را در خصوصیات رشدی گیاهان و درنتیجه عملکرد محصول ایجاد می‌کند (Mazaherinia *et al.*, 2011).

تیمارهای کودی نیتروژن (Nano-N و N) نیز نسبت به سایر تیمارهای کودی عملکرد بهتری داشته و در کاربرد Nano-N و N نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب افزایش ۷۰/۳۲ و ۵۷/۱۰ درصدی را به دنبال داشتند. در مورد رقم شیرودی نیز نتایج مشابهی مشاهده شد، با این تفاوت که در رقم شیرودی کاربرد همزمان کودهای نانو و رایج NPK (Nano-NPK+NPK) بالاترین عملکرد شلتوک را به خود اختصاص داد و نسبت به Nano-NPK و NPK (به‌ترتیب با ۱۱/۵۴ و ۲۲/۸۳ درصد) تفاوت معنی‌داری داشت که بیانگر کودپذیری بالاتر رقم شیرودی نسبت به طارم محلی می‌باشد. کودپذیری بالاتر رقم شیرودی از پتانسیل ژنتیکی تولید بالاتر به‌دلیل پرمحصول بودن این رقم ناشی می‌شود (Amini Dehaghi *et al.*, 2018). در هر دو رقم مورد بررسی و تقریباً در اکثر سطوح کودی، استفاده از نانوکود اثر بهتری نسبت به کود رایج داشته و عملکرد شلتوک را افزایش داد، به‌طوری‌که این افزایش در کاربرد Nano-NPK نسبت به NPK رایج معنی‌دار بوده و در رقم طارم محلی و شیرودی به‌ترتیب ۲۲/۵۴ و ۱۰/۱۲ درصد نسبت به NPK رایج افزایش نشان داد. همان‌طورکه بیان شد بخش زیادی از کودهای شیمیایی در نتیجه آب‌شویی یا تثبیت شدن در خاک از دسترس گیاه خارج می‌شود و در زمان مناسبی از رشد که مورد نیاز گیاه است در اختیار آن قرار نمی‌گیرند (Alesaadi *et al.*, 2017). حال آن‌که نانوکودها تا حد زیادی این مشکل را برطرف کرده و با راندمان بالایی در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. بنابراین، این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد و با نتایج آزمایش‌های محققین دیگری چون توان و همکاران (Tavan *et al.*, 2014) در کاربرد نانوکود پتاسیم در گیاه گندم و آل‌سعدی و همکاران (Alesaadi *et al.*, 2017) در گوجه‌فرنگی مطابقت دارد.

نتایج عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نیز مشابه عملکرد شلتوک بوده و بیشترین مقادیر صفات یاد شده در تیمارهای کاربرد کود کامل

به‌صورت نانو (Nano-NPK)، رایج (NPK) و کاربرد همزمان نانو و رایج (Nano-NPK+NPK) به دست آمد (جدول ۱۰). در مورد عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نیز استفاده از کودها به‌صورت نانو نتیجه بهتری داشته و در اکثر سطوح کودی باعث افزایش بیشتر صفات مذکور گردید. به‌طوریکه در رقم طارم محلی کاربرد NPK به‌صورت نانو اختلاف معنی‌داری نسبت به کاربرد آن به‌صورت رایج داشته و به‌ترتیب افزایش ۱۲/۲۹ و ۸/۳۹ درصدی را در عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نشان داد. در این زمینه گزارش شده که استفاده از نانو لایه‌های کنشی در طراحی و ساخت کودهای شیمیایی جدید، منجر به افزایش قابل ملاحظه کارایی مصرف عناصر غذایی و متعاقباً عملکرد محصول خواهد شد (De Rosa *et al.*, 2010). در آزمایش‌های دیگر نیز افزایش معنی‌دار عملکرد گیاهان مختلف در اثر مصرف نانو ذرات نسبت به کاربرد کودهای معمولی گزارش شده است (Moaveni and Kheiri, 2011; Feizi *et al.*, 2010) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که در هر دو رقم طارم محلی و شیرودی کاربرد تیمارهای کودی و به‌خصوص کود کامل NPK به‌صورت رایج یا نانو رشد و عملکرد برنج را افزایش داد. در اکثر سطوح کودی ازجمله کودهای نیتروژن، پتاسیم و کود کامل در رقم طارم محلی و فسفر، پتاسیم و کود کامل در رقم شیرودی استفاده از نانوکود اثر بهتری نسبت به کود رایج داشته و عملکرد شلتوک را افزایش داد، به‌طوری که این افزایش در کاربرد Nano-NPK نسبت به NPK رایج معنی‌دار بوده و در رقم طارم محلی و شیرودی به‌ترتیب ۲۲/۵۴ و ۱۰/۱۲ درصد رسید. بنابراین، از آن‌جایی که کاربرد کودهای شیمیایی برای به‌دست آوردن عملکرد مناسب در گیاهان انکار ناپذیر است، باید دنبال راهکارهای بهینه کردن مصرف کودها بود، که با توجه به نتایج این آزمایش استفاده از نانو کودها به‌ویژه تیمار نانوکود NPK (Nano-NPK) یکی از راهکارهای مناسب برای نیل به این هدف در محصول برنج می‌باشد.

جدول ۱- سطوح مختلف تیمار کودی به‌کار رفته در آزمایش

Table 1- Different levels of fertilizer treatment used in the experiment

علامت اختصاری تیمار Treatment abbreviation	نوع تیمار کودی Fertilizer treatment	مقدار مصرف Dosage	منبع مورد استفاده Used source	میزان ماده موثره active ingredient content
شاهد Control	شاهد (بدون مصرف کود) Control (without fertilizer)	-	-	-
N	کود نیتروژن رایج Common nitrogen	۱۵۰ کیلوگرم در هکتار 150 kg/ha	اوره Urea	۴۶ درصد نیتروژن 46% N
P	کود فسفر رایج Common phosphorus	۷۵ کیلوگرم در هکتار 75 kg/ha	سوپرفسفات تریپل Triple Superphosphate	۴۶ درصد P_2O_5 46% P_2O_5
K	کود پتاسیم رایج Common potassium	۹۰ کیلوگرم در هکتار 90 kg/ha	سولفات پتاسیم Potassium sulfate	۵۰ درصد K_2O 50% K_2O
Nano-K	نانو کود نیتروژن Nano-nitrogen	غلظت دو در هزار 2 g/l	نانو کود کلاته خضراء Khazra Chelated Nano Fertilizer	۱۷ درصد کلات نیتروژن 17% chelated nitrogen
Nano-P	نانو کود فسفر Nano-phosphorus	غلظت دو در هزار 2 g/l	نانو کود کلاته خضراء Khazra Chelated Nano Fertilizer	۱۷ درصد کلات فسفر 17% chelated phosphorus
Nano-N	نانو کود پتاسیم Nano-potassium	غلظت دو در هزار 2 g/l	نانو کود کلاته خضراء Khazra Chelated Nano Fertilizer	۲۷ درصد کلات پتاسیم 17% chelated potassium
NPK	کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم رایج Common nitrogen, phosphorus and potassium	*		
Nano-NPK	نانو کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم Nano-nitrogen, phosphorus and potassium			
NPK+ Nano-NPK	ترکیب کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم نانو و رایج Common and nano-nitrogen, phosphorus and potassium			

* ترکیبی از کودهای اشاره شده مورد استفاده قرار گرفته است. * a combination of the mentioned fertilizers was used.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2- Physicochemical characteristics of soil

بافت خاک Soil texture	کربن آلی OC (%)	اسیدیته گل اشباع pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب P	پتاسیم قابل جذب K ($mg.kg^{-1}$)
لومی رسی Sandy loam	1.31	8.05	2.97	0.23	19.9	225

جدول ۳- آمار هواشناسی در طول دوره رشد برنج (بازه زمانی اول اردیبهشت تا سی و یکم مرداد)

Table 3- Meteorological data for long growth period of rice (from April 20 to August 22)

سال Year	متوسط رطوبت نسبی Mean relative humidity (%)	مجموع بارندگی Rainfall (mm)	مجموع ساعات آفتابی Sunny hours	متوسط درجه حرارت Mean temperature (0 °C)
2016	79/0	92.5	1025.6	24.7
2017	76/0	16.7	1118.0	24.8

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات مورفولوژیک برنج

Table 4- Analysis of variance (mean squares) for effects of experimental treatments on morphological traits of rice

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	طول خوشه Panicle length	طول برگ پرچم Flag leaf length	سطح برگ پرچم Flag leaf area	طول میانگره انتهایی Uppermost internode length	تعداد برگ در بوته Leaf number per plant	طول اکستراژن Extrusion length
سال Year	1	320.13^{ns}	343.41^{ns}	126.08^{ns}	1226.75*	1086.01*	717.36^{ns}	16.13^{ns}
بلوک(سال) Block(Year)	4	90.66	195.58	142.67	58.34	120.57	658.78	9.82
رقم Cultivar	1	42714.13^{ns}	27.08^{ns}	2.41^{ns}	72.54^{ns}	16450.21^{ns}	2847.98^{ns}	235.2^{ns}
سال× رقم Year×Cultivar	1	307.2^{ns}	291.41^{ns}	10.21^{ns}	109.44^{ns}	913.01^{ns}	298.94^{ns}	145.2^{ns}
رقم × بلوک(سال) Cultivar×Block(Year)	4	243.64	44.37	22.58	163.69	173.33	291.83	54.85
کود Fertilizer	9	1334.19**	31.42*	61.75*	176.63*	389.75*	392.34*	4.64^{ns}
رقم × کود Cultivar× Fertilizer	9	165.45**	18.56^{ns}	60.93*	143.99*	232.1*	91.84^{ns}	4.83^{ns}
سال × کود Year× Fertilizer	9	10.60^{ns}	7.30^{ns}	12.96^{ns}	51.06^{ns}	58.08^{ns}	50.3^{ns}	1.84^{ns}
سال × رقم × کود Year×Cultivar× Fertilizer	9	12.26^{ns}	8.08^{ns}	9.36^{ns}	43.14^{ns}	51.86^{ns}	80.62^{ns}	3.24^{ns}
خطا Error	72	9.43	7.42	18	71.9	60.06	95.62	5.31
ضریب تغییرات C.V. (%)		2.72	10.9	14.9	28.7	16.2	20.1	25.9

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

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

جدول ۵- اثر تیمار کودی بر تعداد برگ در بوته

Table 5- Effect of fertilizer treatment on leaf number per plant

کود Fertilizer	طول خوشه Panicle length (cm)	تعداد برگ در بوته Leaf number per plant
شاهد Control	22.58	37.93
N	24.83	50.77
Nano-N	24.67	49.23
P	23.67	45.35
Nano-P	25.36	43.15
K	23.08	47.60
Nano-K	24.08	47.00
NPK	27.00	50.97
Nano-NPK	25.92	57.48
NPK+Nano-NPK	27.42	55.47
LSD	2.216	7.958

جدول ۶- اثر برهمکنش رقم و تیمار کودی بر ارتفاع بوته، طول خوشه، طول برگ پرچم و طول میانگره انتهایی برنج

Table 6- Interaction effect of cultivar and fertilizer treatment on plant height, panicle length, flag leaf length and uppermost internode length of rice

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)		طول برگ پرچم Flag leaf (cm)		سطح برگ پرچم Flag leaf area (cm^2)		طول میانگره انتهایی Uppermost internode length (cm)	
Fertilizer	طارم محلی Tarom	شیرودی Shiroudi	طارم محلی Tarom	شیرودی Shiroudi	طارم محلی Tarom	شیرودی Shiroudi	طارم محلی Tarom	شیرودی Shiroudi
شاهد Control	118.5	77.7	26.50	24.67	25.17	24.75	56.17	28.00
N	132.7	97.0	27.50	26.00	22.73	30.27	57.67	38.67
Nano-N	133.8	98.5	31.67	28.67	31.60	30.40	61.83	43.50
P	129.0	90.7	25.33	25.83	25.42	31.23	54.67	37.17
Nano-P	123.3	93.8	29.50	30.67	35.15	32.48	54.50	30.33
K	115.3	82.5	29.50	25.33	29.62	26.03	49.17	33.33
Nano-K	120.8	86.2	24.00	31.33	21.30	30.98	51.67	34.33
NPK	152.7	101.2	29.17	36.17	29.23	40.47	79.67	34.00
Nano-NPK	147.7	98.8	33.17	26.50	40.43	29.30	63.33	40.33
NPK+Nano-NPK	140.2	110.3	29.17	27.50	26.33	26.62	66.67	41.50
LSD	4.139	2.952	5.674	4.144	11.448	8.129	10.887	6.793

جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج

Table 7- Analysis of variance (mean squares) for effects of experimental treatments on yield and yield components of rice

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد خوشه‌چه در خوشه Spicklet number per panicle	تعداد دانه در خوشه Grain number per panicle	درصد باروری دانه Grain fertility	تعداد پنجه در بوته Tiller number per plant	درصد باروری پنجه Tiller fertility
سال Year	1	35.208*	511.71^{ns}	18.81^{ns}	115.64^{ns}	11.445^{ns}
بلوک(سال) Block(Year)	4	1.583	1282.06	4.327	50.731	11.384
رقم Cultivar	1	33.075^{ns}	57421.88^{**}	26.971^{*}	572.907^{*}	248.487^{ns}
سال× رقم Year*Cultivar	1	31.008^{ns}	6.08^{ns}	0.022^{ns}	0.147^{ns}	7.144^{ns}
رقم × بلوک (سال) Cultivar×Block(Year)	4	17.167	1591.45	10.636	10.804	16.202
کود Fertilizer	9	5.968^{ns}	988.07^{*}	4.366^{ns}	46.580^{**}	33.526^{*}
رقم × کود Cultivar× Fertilizer	9	3.760^{ns}	136.50^{ns}	6.749^{ns}	6.396^{ns}	1.912^{ns}
سال × کود Year× Fertilizer	9	3.634^{ns}	164.33^{ns}	8.263^{ns}	4.390^{ns}	4.177^{ns}
سال × رقم × کود Year×Cultivar× Fertilizer	9	3.397^{ns}	70.49^{n}s	3.268^{ns}	4.073^{ns}	2.936^{ns}
خطا Error	72	3.273	190.17	6.45	9.752	3.744
ضریب تغییرات C.V. (%)		20.77	13.3	2.61	19.1	13.5

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

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

ادامه جدول ۷

Table 7- Continued

منابع تغییر S.O.V.		درجه آزادی df	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد شلتوک Paddy yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
سال	Year	1	110.289^{ns}	1.68^{ns}	6.912^{ns}	0.065^{ns}
بلوک(سال)	Block(Year)	4	32.868	11.193	15.228	301.801
رقم	Cultivar	1	393.936^{ns}	238.008*	608.4*	1795.68**
سال× رقم	Year×Cultivar	1	46.349*	0.591^{ns}	2.296^{ns}	0.28^{ns}
رقم × بلوک (سال)	Cultivar×Block(Year)	4	2.985	2.612	2.113	124.904
کود	Fertilizer	9	3.203^{ns}	11.662**	16.541**	231.774**
رقم × کود	Cultivar× Fertilizer	9	3.076^{ns}	1.085**	1.967*	25.609*
سال × کود	Year× Fertilizer	9	4.686^{ns}	0.249^{ns}	1.132^{ns}	9.618^{ns}
سال × رقم × کود	Year×Cultivar× Fertilizer	9	5.196^{ns}	0.083^{ns}	0.417^{ns}	4.879^{ns}
خطا	Error	72	6.985	0.355	0.941	9.077
ضریب تغییرات	C.V. (%)		9.92	11.9	8.75	6.88

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

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

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر رقم و تیمار کودی بر صفات عملکردی برنج

Table 8- Effect of cultivar and fertilizer treatment on yield treats of rice

تیمار Treatment		تعداد دانه در خوشه Grain number per panicle	درصد باروری دانه Grain fertility (%)	تعداد پنجه در بوته Tiller number per plant	درصد باروری پنجه Tiller fertility (%)
رقم	Cultivar				
طارم محلی	Tarom	81.32	96.68	14.15	12.84
شیرودی	Shiroudi	125.07	97.63	18.52	15.71
LSD		5.019	0.925	1.137	3.704
کود	Fertilizer				
شاهد	Control	86.39	96.48	12.53	11.35
	N	108.93	97.87	16.95	14.65
	Nano-N	101.48	97.48	16.22	14.95
	P	93.54	97.80	15.20	13.56
	Nano-P	102.00	97.16	15.05	12.79
	K	100.40	96.16	16.37	13.19
	Nano-K	100.90	96.62	15.50	13.79
	NPK	107.59	96.85	17.27	15.31
	Nano-NPK	115.25	97.72	18.88	16.32
	NPK+Nano-NPK	115.47	97.45	19.35	16.84
LSD		11.223	2. 670	2.541	1.575

جدول ۹- اثر برهمکنش سال و رقم بر وزن هزار دانه برنج

Table 9- Interaction effect of year and cultivar on 1000-grain weight of rice

Treatment تیمار		وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)
سال Year	رقم Cultivar	
1395	طارم محلی Tarom	30.01[a]
	شیرودی Shiroudi	25.15[c]
1396	طارم محلی Tarom	26.85[b]
	شیرودی Shiroudi	24.47[c]

جدول ۱۰- اثر برهمکنش رقم و تیمار کودی بر عملکرد شلتوک، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت برنج

Table 10- Interaction effect of cultivar and fertilizer treatment on paddy yield, biological yield and harvest index of rice

تیمار Treatment		عملکرد شلتوک Paddy yield (ton/h)		عملکرد بیولوژیک Biological yield (ton/h)		شاخص برداشت Harvest index (%)	
کود Fertilizer		طارم محلی Tarom	شیرودی Shiroudi	طارم محلی Tarom	شیرودی Shiroudi	طارم محلی Tarom	شیرودی Shiroudi
شاهد Control		2.27	4.44	7.43	10.73	30.28	41.43
N		3.57	6.84	8.95	14.32	39.75	47.83
Nano-N		3.87	6.33	9.17	13.27	42.13	47.47
P		2.97	5.75	7.95	12.23	37.03	46.98
Nano-P		2.80	6.12	8.15	12.98	33.92	47.07
K		3.19	5.31	8.35	12.58	38.12	42.12
Nano-K		3.43	5.89	8.47	12.58	40.32	46.78
NPK		4.13	6.99	9.38	13.73	43.92	50.78
Nano-NPK		5.06	7.70	10.53	14.73	47.60	52.38
NPK+Nano-NPK		4.51	8.59	9.83	16.08	45.58	53.17
LSD		0.365	0.917	0.617	1.483	2.648	4.228

References منابع مورد استفاده

- Alesaadi, Gh.A., S.M.R. Moosavi, and T. Basirnia. 2017. Effect of nano-K, potassium sulphate and salicylic acid on tomato growth and control of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*). *Plant Protection*. 40(3): 71-83. (In Persian).
- Amini Dehaghi, M.A., N. Pakbaz, and S.A. Razavi. 2018. Effects of nano-phosphate and superphosphate fertilizer on yield components of two *Oryza sativa* varieties, shirudi and hashemi. 15th National Iranian Crop Science Congress. Sep. 4-6, Karaj, Iran. (In Persian).
- Anonymus. 2015. Statistics of Agriculture, crop products (first volume). Ministry of Agriculture-Jahad, Planning and Economic Affairs, Information and Communication Technology Center. 2014-2015 annual report. (In Persian).
- Anonymus. 2018. Rice Research Institute of Iran (Amo). http://berenjamol .areeo. ac.ir/ HomePage.aspx?TabID=10510&Site=berenjamol.areeo.ac&Lang=fa-IR
- Benzon, H.R.L., U.R. Rosnah U.U. Venecio, and S.C. Lee. 2015. Nano-fertilizer affects the growth, development and chemical properties of rice. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research.* 7(1): 105-117.
- Cui, H., C. Sun, Q. Liu, J. Jiang, and W. Gu. 2006. Applications of nanotechnology in agrochemical formulation, perspectives, challenges and strategies. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China, pp: 1-6.
- De Rosa, M.R., C. Monreal, M. Schnitzer, R. Walsh, and Y. Sultan. 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology*. 5: 91-92.
- Ekinci, M., A. Dursun, E. Yildirim, and F. Parlakova. 2014. Effects of nanotechnology liquid fertilizers on the plant growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Acta Scientiarum Polonorum Horticulture*. 13(3): 135-141.
- Erfani, R., Y. Yaghoubian, and H. Pirdashti. 2020. The contribution of chemical, organic and bio-fertilizers on rice production in Iran: A meta-analysis. *Russian Agricultural Sciences*. 46(6): 596-601.
- Fallah, A., M. Mohammadian, N. Fathai, and H. Elyasi. 2018. Interactive effect of nitrogen and variety on agronomical characteristics, yield and quality of grain of rice in replanting. *Journal of Applied Research of Plant Echophysiology*. 4(2): 29-48. (In Persian).
- Faraji, F., M. Esfehani, M. Kavoosi, M. Nahvi, and B. Rabiyi. 2012. Effects of split application and levels of nitrogen fertilizer on growth indices and grain yield of rice (*Oryza sativa*) cv. Khazar. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 43(2): 323-333. (In Persian).
- Feizi, H., A. Berahmand, P. Rezvani Moghaddam, A. Fotovvat, and N. Tahmasbi. 2010. Application magnetic field and silver nano particles in growth and yield of maize. In: National Conference on Nano Science and Nano Technology, Yazd, Iran, 11-12 March. p. 1694-1697. (In Persian).
- Ghasemzadeh, N., A.A. Gholipouri, D. Hosseinpanah, and D. Jamaati. 2012. Study of the effects of potassium nano-fertilizer and microtubule planting density on the production of tuber (miniaturbar) and some quantitative and qualitative traits of minituber in potatoes. The 1st National Conference on Solutions to Access

Sustainable Development in Agriculture, Natural Resources and the Environment. Tehran, Iran. (In Persian).

- Harsinia, M.G.; H. Habibib, and G.H. Talaei. 2014. Effect of nano iron foliar application on quantitative characteristics of new line of wheat. *Scientific Journal of Crop Science.* 3:37-42
- Hasani, Z., H. Pirdashti, Y. Yaghoubian, and M.Z. Nouri. 2013. Effect of cold air and water temperature on some morphological parameters of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Caspian Journal of Applied Sciences Research.* 2(11): 39-44.
- He, C.L., M.Z. Liu, H.H. Jiang, Z.P. Wang, and M. Lian. 1992. Study of high yield model of a rice hybrid weiyou 7 Fujian. *Agricultural Science Technology.* 5: 2-4.
- Jafarzadeh, R., M. Jami Moini, and M. Hokmabadi. 2013. Research of yield and yield components in wheat to soil and foliar application of nano potassium fertilizer. *Journal of Crop Production Research*. 5(2): 189-197. (In Persian).
- Kochaki, A., and M. Hosseini. 2011. Energy efficiency in crop ecosystems. Ferdowsi University of Mashhad. Iran. Pp: 328. (In Persian).
- Koutroubas, S.D., and D.A. Ntanos. 2003. Genotypic differences for grain yield and nitrogen utilization in Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research.* 83: 251-260.
- Lai, R. 2007. Soil science in the era of hydrogen economy and 10 billion people. The Ohio State University, USA, pp: 1-9.
- Liu, X.M., F.D. Zhang, S.Q. Zhang, X.S. He, R. Fang, Z. Feng, and G.Y. Wan. 2005. Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. *Plant Nutrition and Fertilizer Science.* 11: 14-18.
- Mazaherinia, S., A. Astaraei, A. Fotovat, and A. Monshi. 2011. Effect of iron oxides (ordinary and nano) and municipal solid waste compost (MSWC) coated sulfur on wheat (*Triticum aestivum* L.) plant iron concentration and growth. *Iranian Journal of Field Crops Research.* 8(5): 855-861. (In Persian).
- Moaveni, P., and T. Kheiri. 2011. TiO_2 nano particles affected on maize (*Zea mays* L.). 2nd International Conference on Agricultural and Animal Science in Singapore by International Proceeding of Chemical, Biological and Environmental Engineering. International Association of Computer Science and Information Technology Press. 22: 160-163.
- Mohammadi Kashka, F., H. Pirdashti, and Y. Yaghoubian. 2018 b. Improvement of related parameters with rice panicle of Tarom Hashemi cultivar by using *Piriformospora indica* and *Trichoderma virens* fungi at different levels of phosphorus fertilization. *Journal of Applied Research of Plant Echophysiology*. 4(2): 139-158. (In Persian).
- Mohammadi Kashka, F., H. Pirdashti, and Y. Yaghoubian. 2018c. Inoculation with *Trichoderma virens* and *Piriformospora indica* for improving the morphological and physiological traits related to grain yield of rice under different rates of phosphorus fertilizer. *Journal of Crop Echophysiology*. 11(44): 857-874. (In Persian).
- Mohammadi Kashka, F., H. Pirdashti, Y. Yaghoubian, and E. Bakhshandeh. 2018 a. Enterobacter inoculation on improving wheat yield in different levels of phosphorus fertilizer. *Agroecology*. 10(2): 430-443. (In Persian).

- Mohammadi Kashka, F., H. Pirdashti, Y. Yaghoubian, and E. Bakhshandeh. 2017. Evaluation of growth and yield stability of wheat by application of *Trichoderma* and *Enterobacter* sp. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 26(4): 1-15. (In Persian).
- Monreal, C.M. 2010. Nanofertilizers for increased N and P use efficiencies by crops. In summary of information currently provided to MRI concerning applications for round 5 of the Ontario research fund-research excellence program, p: 12-13.
- Moosavi S.Gh., O. Mohamadi, R. Baradaran, M.J. Seghatoleslami, and E. Amiri. 2014. Effect of nitrogen fertilizer rates on morphological traits, yield and yield components of three cultivars of rice. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13(1): 146-152. (In Persian).
- Naderi, M.R., and A. Abedi. 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Journal of Nanotechnology.* 11 (1): 18-26.
- Naderi, M.R., and A. Danesh-Shahraki. 2011. Application of nanotechnology to optimize the formation of chemical fertilizers. *Nanotechnology*. 10(4): 20-32. (In Persian).
- Nahvi, M., M. Allahgholipour, M. Ghorbanpour, and H. Mehrgan. 2005. The effective of planting density and nitrogenous fertilizer rate for GRH1 rice hybrid. *Pajouhesh and Sazandegi*. 66: 33-38. (In Persian).
- Noor Mohammadi, Gh., A. Siadat, and A. Kashani. 2010. Agronomy (Cereals). Shahid Chamran University of Ahvaz Press. Pp. 468. (In Persian).
- Pirdashti, H., Y. Yaghoubian, E.M. Goltapeh, and S. Hosseini. 2012. Effect of mycorrhiza-like endophyte (*Sebacina vermifera*) on growth, yield and nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) under salt stress. *Journal of Agricultural Technology*. 8(5):1651-1661.
- Prasad, T.N.V., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, Y.V. Munaswam, K. Raja Reddy, T.S. Sreeprasad, P.R. Sajanla, and T. Pradeep. 2012. Effect of manoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition.* 35: 905-927.
- Rostami Ajirloo, A.A., and E. Amiri. 2018. Soybean response to different levels of nano-potassium under cutting irrigation conditions in Mugan plain. *Crops Improvement.* 20(2): 503-516. (In Persian).
- Shabala, S. 2003. Regulation of potassium transport in leaves: From molecular to tissue level. *Annual of Botany*. 92: 627-634.
- Shargi, F., and E. Khalilvand Behrouzyar. 2019. Effect of Nano-TiO_2 and salicylic acid foliar application on some biochemical traits of corn 704 single cross under water regimes. *Journal of Crop Echophysiology*. 13(51): 413-430. (In Persian).
- Singh, S., and M.C. Jain. 2000. Growth and yield response of traditional told and improved semi tall rice cultivars to moderate and high nitrogen, phosphorus and potassium levels. *Indian Journal of Agricultural Research.* 33: 9-15.
- Sotoudeh Maram, S., and M. Ghiyasi. 2018. Influence of nano fertilizers folia r application on some morpho logical characteristics, for the production of sugar beet seed. 15th National Iranian Crop Science Congress. Sep. 4-6. Karaj, Iran. (In Persian).

- Tarafdar, J.C. 2012. Perspectives of nanotechnological applications for crop production. *NAAS News.* 12: 8-11.
- Tarafdar, J.C., R. Raliya, and I. Rathore. 2012. Microbial synthesis of phosphorous nanoparticle from tri-calcium phosphate using *Aspergillus tubingensis* TFR-5. *Journal of Bionanoscience*. 6: 84-89.
- Tavan, T., M. Niakan, and A.A. Norinia. 2014. Effect of nano-potassium fertilizer on growth parameters, photosynthetic system and protein content of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. N8019. *Journal of Plant Environmental Physiology.* 9(3): 61-71. (In Persian).
- Yaghoubian, Y., E.M. Goltapeh, H. Pirdashti, E. Esfandiari, V. Feiziasl, H.K. Dolatabadi, A. Varma, and M.H. Hassim. 2014. Effect of *Glomus mosseae* and *Piriformospora indica* on growth and antioxidant defense responses of wheat plants under drought stress. *Agricultural Research.* 3(3): 239-245.
- Yaghoubian, Y., H. Pirdashti, A. Mottaghian, and S.J. Hosseini. 2012. Effect of fluctuating salinity at different growth stages on physiological and yield related parameters of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agriculture*. 2(3): 266-276.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.681005

Effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Nano-Fertilizers on Growth and Seed of Two Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars

Seyed Taghi Sadati Valojai[1], Yousef Niknejad[*2], Hormoz Fallah[2], and Davood Barari Tari[2]

Received: January 2020 , Revised: 9 August 2020, Accepted: 14 October 2020

Abstract

Optimum use of fertilizer plays a key role in enhancing the yield of rice and other crops. The use of nano-fertilizers can be an effective strategy in optimizing fertilizer use in croping systems and achieving sustainable agriculture. This research was carried out to study the effect of nano-fertilizers spraying compared with common chemical N.P.K fertilizers use on morphological traits, yield and yield components of rice in Sari, Mazandaran province for two years (2016 and 2017). A split plot experiment, based on randomized complete block design with three replications was conducted. The main factors were two rice cultivars (Tarom and Shiroudi) and a sub plots including fertilizer treatments in 10 levels, consisting of control (without fertilizer), common fertilizers of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and NPK, and nano-fertilizers of nitrogen (Nano-N; chelated nitrogen 17%), phosphorus (Nano-P; chelated phosphorus 17%), potassium (Nano-K; chelated potassium 27%) and NPK (Nano-NPK), plus simultaneous application of NPK and Nano-NPK (NPK+Nano-NPK). The results showed that, use of conventional fertilizers and nano-fertilizers, including the use of NPK and Nano-NPK, increased the yield and yield components of both rice cultivars. Most of the fertilizer levels (N, K, NPK fertilizers in Tarom and P, K and NPK fertilizers in Shiroudi), the use of nano-fertilizers was more affective than conventional fertilizer and increased seed yield. Application of Nano-NPK increase yield of Tarom and Shirodi cultivars by 22.54% and 12.12%, respectively as compared to the use of NPK. Since the application of chemical fertilizers is indispensable for obtaining proper yield in plants, the use of nano-fertilizers, especially Nano-NPK treatments, can be a good strategy to optimize the use of fertilizers in rice fields.

Key words: Common fertilizer, Morphological treats, Nano-fertilizer, Rice, Yield components.

1-Ph.D. Student, Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
2-Assistant Professor, Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
*Corresponding Author: *yousofniknejad@gmail.com*