تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۹، آذر ۱۴۰۰ (ص ۲۳۱۶-۲۳۰۳)
(علمی - پژوهشی)
https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.318115.668879

Effect of Zinc Sources and Application Methods on Yield and Yield Component of Local Rice Variety (Hashemi), and Soil Available Zinc

SHAHRAM MAHMOUD SOLTANI*
Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
(Received: Jan. 29, 2021- Revised: Aug. 4, 2021- Accepted: Aug. 22, 2021)

ABSTRACT

Zinc deficiency is the most widespread soil nutritional disorder of the paddy fields that its management is more complex due to its influence on soil properties, and therefore, requires knowledge of the proper application rates, fertilizer types, and application methods in various soil conditions. The current two-year outdoor pot experiment study was conducted to explain the effect of Zn fertilizers types and application methods on the morphological characters, yield, and yield component of the Hashemi rice variety. The three factors factorial experiment was conducted in a completely randomized block design with three replications at the rice research institute of Iran in 2018-2019. The experimental factors were: Zn fertilizer types (four levels), application methods (three levels), and Zn deficit paddy soils (four levels). The results indicated that all fertilizer types and application methods significantly influenced the measured plant and soil characters. The most effective treatments on soil available Zn, plant height, total tiller numbers, panicle length, grain yield was the soil application of 20 kg Zn ha^{-1} in the source of Zn Sulphate by around 8.6 times, 10, 50, 29.3 and 50%, respectively, and also for straw yield was the three stages Zn foliar application in the rate of 0.5% in the source of Zn Sulphate by about 50%. Thus, it can be concluded that despite the various soil characters of the studied paddy fields, the soil application of 20 kg Zn ha^{-1} followed by the three stages Zn foliar application at the rate of 0.5% both in the source of Zn Sulphate can enhance the rice grain and straw yield considerably.

Keywords: Micronutrients, Yield, Soil Broadcasting, Foliar Application.

* Corresponding Author's Email: shmsoltani@gmail.com

تأثیر نوع و روش مصرف کودهای حاوی روی بر عملکرد، اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی و مقدار روی قابل‌جذب خاک

شهرام محمود سلطانی*

موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۰- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۵/۱۳- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۵/۳۱)

چکیده

کمبود روی پس از کمبود عناصر پرمصرف گسترده‌ترین ناهنجاری تغذیه‌ای در اراضی شالیزاری است. به‌منظور بررسی تأثیر نوع و روش مصرف کودهای روی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی و روی قابل‌جذب در خاک‌های مختلف شالیزاری دچار کمبود روی، آزمایشی دو ساله و گلدانی در هوای آزاد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور–رشت اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل نوع کود روی در چهار سطح (سولفات روی، اکسید روی، Zn-EDTA و بدون مصرف کود روی)، روش مصرف کود در سه سطح (مصرف خاکی، محلول‌پاشی سه مرحله‌ای در حداکثر پنجه‌زنی، پیش از گلدهی و آغاز رسیدن دانه و غوطه وری ریشه در محلول ۰/۵ درصد حاوی روی) بودند. نتایج نشان داد که تمامی منابع کودی و روش مصرف در خاک‌های مورد مطالعه بر بسیاری از صفات اندازه‌گیری شده مانند میزان روی قابل‌جذب خاک، ارتفاع بوته، طول خوشه، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش تأثیر معنی‌دار داشتند. بیشترین مقدار افزایش روی قابل‌جذب خاک، ارتفاع بوته، تعداد کل پنجه، طول خوشه و عملکرد دانه و کاه رقم هاشمی به‌ترتیب ۳ برابری، ۵۰،۱۰، ۱۵/۳، ۸۰ و ۶۸ درصدی ناشی از مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی به ثبت رسید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در خاک‌های شالیزاری با کمبود روی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی و سپس محلول‌پاشی سه مرحله‌ای می‌تواند سبب بهبود چشم‌گیر عمکرد دانه و کاه برنج رقم هاشمی شود.

واژه‌های کلیدی: عناصر کم‌مصرف، عملکرد، مصرف‌خاکی، محلول‌پاشی.

مقدمه

برنج غذای اصلی نیمی از مردم جهان را که بیشتر در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند تشکیل داده و ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز ساکنان مناطق برنج‌خیز در این کشورها را تامین می‌کند (Depar, 2011 ؛FAO, 2018). با توجه به روند رو به افزایش جمعیت جهان، تا سال ۲۰۲۵ به ۷۶۰ میلیون تن شلتوک برای پاسخگویی به نیاز غذایی رو به رشد جمعیت جهان به این منبع راهبردی غذایی نیاز می‌باشد. اگرچه معرفی ارقام مقاوم و پرمحصول، آب آبیاری کافی برای تولید پایدار و اقتصادی برنج ضروری است ولی عدم توجه به نیاز غذایی به ویژه عناصر کم‌مصرف حیاتی مانند روی چالشی جدی در این مسیر است.

پس از نیتروژن، فسفر و پتاسیم کمبود فراگیر روی مهمترین ناهنجاری پیش روی تولید برنج و مسئول کاهش عملکرد آن (Fageria *et al.*, 2002; Quijano-Guerta *et al.*, 2002; Rehman *et al.*, 2012) است. بیش از ۳۰ درصد خاک‌های جهان دارای کمبود روی قابل‌جذب گیاه بوده (Alloway, 2008) و در مقایسه با بقولات، غلات حساسیت بیشتر به این کمبود داشته که منجر به کاهش چشمگیر عملکرد دانه و کیفیت غذایی دانه آن‌ها می‌شود (Rehman *et al.*, 2012). با این حال فراوانی کمبود روی در اراضی شالیزاری در مقایسه با اراضی تحت کشت سایر غلات ۵۰ درصد بیشتر بوده و این گیاه در بیش از ۵۰ درصد شالیزارها به نحوی با ناهنجاری‌های ناشی از این کمبود روبروست (Dobermann and Fairhurst, 2000; Fageria *et al.*, 2002). بنابراین کمبود روی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غذایی پیش روی برنج و عامل محدودکننده تولید آن در شالیزارهای تحت آبیاری آسیاست (Quijano-Guerta., 2002). عنصر روی در تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه و فرآیندهای سوخت‌وساز آن از جمله فعال‌سازی ۳۰۰ آنزیم، سنتز پروتئین، متابولیسم‌های درگیر در تولید کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای

* نویسنده مسئول: shmsoltani@gmail.com

نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم باروری (تشکیل گرده) دخالت دارد (Gao *et al*., 2011). عنصر روی با تحت تأثیر قرار دادن فعالیت‌های آنزیم‌های هیدروژناز و کربونیک آنهیدراز، تثبیت ساختارهای ریبوزومی و سنتز سیتوکروم، نقش بسیار مهمی در متابولیسم گیاه بازی می‌کند. آنزیم‌های گیاهی که توسط روی فعال می‌شوند عمدتا در متابولیسم قندها، حفظ یکپارچگی ساختار غشای سلولی، سنتز پروتئین، تنظیم سنتز هورمون اکسین و تشکیل گرده دخیل هستند (Alloway, 2008). علی‌رغم گستره بسیار وسیع از فعالیت‌های فیزیولوژیکی عنصر روی در گیاه نقش شرایط محیطی به ویژه خاک در فراهمی زیستی آن به شدت بر قابلیت جذب آن توسط گیاه تأثیر می‌گذارد.

کاربرد کود روی در خاک‌های دارای کمبود این عنصر، یک راهبرد کلی برای مقابله با کمبود آن بوده و علاوه بر افزایش عملکرد دانه به افزایش غلظت روی در دانه نیز می‌انجامد (Mahmoud Soltani *et al*., 2017؛ Houssain *et al*., 2012). کودهای حاوی روی بایستی بنحوی مصرف شوند که سبب بیشترین فراهمی روی برای جذب گیاه شوند. روش کاربرد و منابع روی بایستی به نحوی هدف‌گذاری شوند که بر بهبود فراهمی روی برای گیاه بیشترین تأثیر را داشته باشند. روی را می‌توان به خاک، بذر و برگ افزود (Johnson *et al*., 2005) و همچنین ریشه نشاهای برنج را در محلول حاوی کود روی غوطه‌ور نمود. (Graham *et al*., 1999).

متداول‌ترین روش افزودن کود روی از طریق کاربرد خاکی است (Jiang *et al*., 2007; Kumar, 2017 and 2020). اگرچه روی را می‌توان از طریق پخش در همه زمین، قراردادن در مجاورت دانه و یا از طریق آب آبیاری به خاک افزود. معمولاً در کشت برنج تحت شرایط غرقابی، روی را قبل از غرقاب و یا پس از نشا به خاک می‌دهند تا از کمبود روی جلوگیری و سبب افزایش عملکرد دانه شود (Doberman and fairhurst, 2000؛ Naik and Das, 2007). هم‌چنین گزینش منابع روی مناسب برای افزودن به خاک نیز می‌تواند یک راهبرد جایگزین برای بهبود در دسترس‌بودن روی برای گیاه در شرایط اراضی غرقابی باشد (Kumari *et al*., 2017; Zulfigar *et al*., 2020). کودهای روی با حلالیت خوب مانند سولفات‌روی و Zn-EDTA در مقایسه با اکسیدروی کم‌محلول‌تر و روی دانه‌ای (گرانوله) سبب انتقال روی بیشتر به ریشه گیاه برنج می‌شود. Gupta *et al*. (2016) نشان دادند اهمیت تأثیر روش کاربرد کود روی بر جذب روی توسط برنج به ترتیب عبارت‌اند از مخلوط با خاک> پخش در سطح خاک> پخش نواری. Khan *et al*. (2003) در یک آزمایش مزرعه-ای در یک خاک آهکی-قلیایی برای بررسی افزایش عملکرد شلتوک توسط هر یک از روش‌های کاربرد کود نشان دادند که مصرف خاکی کود روی در مقایسه با فروبردن ریشه در محلول حاوی روی یا محلول‌پاشی عملکرد بهتری داشت. در آزمایشات گلخانه‌ای با استفاده از ژنوتیپ‌های با کارایی روی بالا و در خاک لوم رس سیلتی و میزان روی عصاره گیری شده با DTPA حدود ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، کاربرد ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار باعث افزایش عملکرد و محتوای روی دانه شد (Beebout *et al*., 2010). به همین ترتیب ، در یک آزمایش مزرعه ای با خاک رسی (pH=6) و میزان روی عصاره گیری شده با DTPA حدود ۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم، کاربرد ۱۰ کیلوگرم روی در هکتار در تمام روش‌های کاشت مانند غرقاب سنتی و مرطوب و خشک شدن متناوب و با استفاده از رقم محلی نیز تأثیر مشابه به ثبت رسیده است (Beebout *et al*., 2010).

روی زمانی که به‌صورت محلول‌پاشی برگی پاشیده شود، از طریق روزنه برگ جذب و سپس از طریق سیستم آوندی گیاه به بخش‌هایی که نیازمند روی هستند انتقال می‌یابد. تعدادی از منابع روی مانند سولفات روی، نیترات روی و Zn-EDTA به‌عنوان کود محلول‌پاشی مناسب برگی در تعدادی از محصولات زراعی معرفی شده است. محلول‌پاشی با سولفات‌روی در برطرف کردن کمبود روی و بهبود غلظت روی دانه مؤثر است (Stomph *et al*., 2011). به‌طورکلی، افزایش میزان روی دانه زمانی رخ می‌دهد که عنصر روی به‌صورت محلول‌پاشی در مراحل نهایی رشد گیاه استفاده شود. افزایش قابل‌توجهی در عملکرد دانه، کاه و غلظت روی دانه با محلول‌پاشی کودهای سولفات‌روی و Zn-EDTA مشاهده شده، اما بیشترین افزایش با استفاده از کود Zn-EDTA مشاهده گردید (Karak and Das, 2006). محلول‌پاشی روی (سولفات‌روی ۰/۵درصد) در شروع خوشه‌دهی در افزایش دو برابری میزان روی دانه موثربود (Phattarakul *et al*., 2011).

فروبردن ریشه نشا در محلول‌های حاوی کود روی ممکن است رویکردی عملی‌تر و راحت‌تر از مصرف خاکی و یا محلول‌پاشی روی باشد. بنابراین، این روش به عنوان یک گزینه مناسب جایگزین روش‌های دیگر کاربرد روی در شرایط اراضی پست و غرقابی است (Dobermann and Fairhurst, 2000). Abilay and De Datta (1978) گزارش دادند که گیاهچه‌های برنجی که ریشه آنها پیش از نشاکاری در محلول ۲ درصد اکسیدروی غوطه‌ورشده است عملکرد دانه بیشتری نسبت به اختلاط روی به صورت پایه با خاک داشته است. وقتی گیاهچه

برنجی که ریشه‌اش در محلول ۲ درصد اکسیدروی غوطه‌ورشده است با محلول‌پاشی تکمیلی با محلول ۰/۵درصد سولفات‌روی تیمار گردید افزایش عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با فرو بردن ریشه در محلول به تنهایی داشته است. کاشت نشاهایی که در خزانه در محلول یک درصد سولفات‌روی غوطه‌ور شده است افزایش عملکرد دانه برنج بیشتری (۹/۲ تن در هکتار) در مقایسه با محلول‌پاشی روی (۸/۵ تن در هکتار) و شاهد بدون روی (۶/۱ تن در هکتار) از خود نشان داده است (Khan *et al*., 2003). همچنین افزایش عملکرد دانه برنج (تا ۴۱درصد بیشتر از شاهد) با فرو بردن ریشه نشادر محلول یک درصد سولفات‌روی در خزانه برنج گزارش شده است (Rashid *et al*., 1999).

مدیریت کمبود روی پس از کمبود عناصر پرمصرف در اراضی شالیزاری به‌علت تاثیرپذیری از ویژگی‌های خاک دشوار و نیازمند دانش کافی پیرامون میزان، نوع، روش مصرف کود و شرایط خاک است. برای مقابله با اثرات منفی گسترده کمبود روی بر عملکرد برنج و همچنین تأثیر نوع خاک بر فراهمی روی، و تنوع روش‌های مصرف و منابع کودی حاوی روی، آزمایش گلدانی دو ساله حاضر به‌منظور بررسی واکنش رقم هاشمی نسبت به کاربرد منابع مختلف عنصر روی به روش‌های گوناگون مصرف (به‌صورت پایه ، محلول‌پاشی و غوطه‌ور کردن ریشه گیاه برنج در محلول حاوی روی) در خاک‌های متفاوت شالیزاری با کمبود روی تدوین و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به‌صورت کاشت گلدانی گیاه برنج در هوای آزاد در سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل نوع کود روی در چهار سطح (سولفات‌روی، اکسیدروی، Zn-EDTA و بدون مصرف کود روی)، روش مصرف کود در سه سطح (مصرف خاکی، محلول‌پاشی سه مرحله‌ای در حداکثر پنجه‌زنی، پیش از گلدهی و آغاز رسیدن دانه و غوطه‌وری ریشه در محلول ۰/۵ درصد حاوی روی) بودند. در این آزمایش، بر اساس نتایج ثبت‌شده در بانک اطلاعاتی بخش تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور، ۳۰ نمونه از خاک‌های شالیزاری استان گیلان و با گستره خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت، انتخاب و نمونه‌برداری شدند. پس از تعیین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مانند بافت خاک، اسیدیته گل اشباع، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل‌جذب و روی قابل‌جذب ، خاکی با روی قابل‌جذب کمتر از آستانه بحرانی (کمتر از ۲ میلی گرم در کیلوگرم (Dobermann and Fairhurst, 2000) انتخاب و برای آزمایش مورداستفاده قرار گرفت. نمونه خاک انتخابی (جدول ۱) هوا خشک و خرد شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و به مقدار ۲۰ کیلوگرم در گلدان‌های پلاستیکی با حجم ۳۰ لیتر ریخته شدند. کود پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم (K_2O) در هکتار از منبع سولفات پتاسیم (۲ گرم در گلدان) پیش از نشاکاری به خاک کلیه گلدان‌ها اضافه شد. کود نیتروژن به مقدار۶۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره (۱/۵ گرم در هر گلدان) و در سه مرحله پیش از نشاکاری، در مرحله وجین و در مرحله تشکیل جوانه اولیه خوشه به خاک گلدان‌ها افزوده گردید. کود فسفره نیز به مقدار ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) از منبع سوپرفسفات تریپل (۱ گرم در هر گلدان) به خاک افزوده و به‌خوبی مخلوط گردید. تیمارهای نوع کود روی شامل سولفات‌روی، اکسیدروی و روی EDTA، روش مصرف شامل مصرف خاکی (۲۰ کیلوگرم روی در هکتار)، محلول‌پاشی (۰/۵ کیلوگرم در هکتار روی) و فرو بردن ریشه در محلول حاوی روی (۰/۵ درصد روی) برحسب مورد در طول آزمایش اجرا شد. در تمامی موارد، مصرف کودها براساس حدود بحرانی و مقدار موجودی ذاتی خاک محاسبه و پس از کسر از میزان توصیه شده به خاک افزوده شده است. پس از غرقاب‌نمودن و گلخراب کردن خاک‌های گلدان‌ها و قرار دادن آب به ارتفاع پنج سانتی‌متر از سطح خاک، نشاکاری در هر گلدان با سه گیاهچه برای رقم برنج هاشمی انجام شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

شماره نمونه واکنش خاک	قابلیت هدایت الکتریکی	روی قابل جذب	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	مواد خنثی شونده	نیتروژن	کربن آلی	رس	سیلت	شن
	دسی‌زیمنس بر متر	------میلی‌گرم در کیلوگرم------			----------درصد----------					
۲	۰/۲۰	۰/۷۳	۱۲	۱۳۸	۲۱	۰/۱	۱/۱۲	۳۸	۴۰	۲۲

در حین انجام آزمایش و بر اساس مراحل مختلف رشد برنج (پنجه‌زنی، گلدهی و رسیدن دانه) و در هنگام برداشت و برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند ارتفاع بوته، طول خوشه، وزن خوشه، تعداد خوشه چه در خوشه از هر گلدان

و از تعداد پنج ساقه اصلی مورد نمونه‌برداری قرار گرفتند. سایر صفات گیاهی شامل تعداد کل پنجه‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مرتبط با عملکرد و اجزای عملکرد شامل وزن هزاردانه، عملکرد گلدان، و تعداد دانه در خوشه در زمان برداشت نیز اندازه‌گیری و محاسبه شدند. میزان روی قابل‌جذب خاک همه گلدان‌ها نیز در انتهای آزمایش اندازه گیری شد. پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌ها ابتدا از آزمون آماری کولموگرف-اسمیرونوف برای نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین نیز با روش حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد با نرم افزار MSTATC انجام گرفت.

نتایج و بحث

میزان روی قابل‌جذب خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که هر دو عامل اصلی (نوع کود و روش مصرف کود) و برهم‌کنش آنها در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان روی قابل‌جذب خاک تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول۲). مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورهای اصلی نشان داد روش مصرف کود در مقایسه با شاهد بر این صفت تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته و بیشترین میزان تأثیر ناشی از کاربرد سولفات روی ۲۲ درصد (۵/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) بوده که نسبت به شاهد (۲/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) سبب افزایش ۲۳۵ درصدی این صفت شده است (جدول ۳). همچنین بررسی تأثیر روش مصرف کود به تنهایی نیز حاکی از آن است که مصرف خاکی (۴/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشترین میزان تأثیر را بر میزان روی قابل‌جذب خاک داشته که نسبت به شاهد (۲/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) سبب افزایش ۲۱۰ درصدی این صفت شده است (جدول ۳). همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب تیماری برای رقم هاشمی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲ درصدی (۶/ میلی‌گرم در کیلوگرم) بوده که نسبت به شاهد (عدم مصرف روی) (۲/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) تفاوت ۳۰۵ درصدی را به ثبت رسانیده است. اگرچه با مصرف خاکی کود اکسید روی (۶/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) که سبب افزایش ۳ برابری میزان روی خاک شده است تفاوت معنی‌داری نداشت چرا که مبنای مصرف کودها مقدار یکسان روی (۲۰ کیلوگرم روی در هکتار) از منابع مختلف بوده بنابراین عدم تفاوت معنی‌دار در تأثیر منابع روی مصرفی بر میزان روی قابل دسترس نیز دور از انتظار نبوده است. اگرچه کود سولفات‌روی بعلت حلالیت بیشتر و در نتیجه آزادسازی سریعتر روی و توان تولید محیط اسیدی‌تر نسبت به سایر منابع کودی مورد مطالعه در افزایش فراهمی روی در خاک موثرتر است (Cakmak, 2009; Rehman *et al*. 2012; Shivay *et al*., 2015). براساس حد آستانه روی در اراضی شالیزاری (Dobermann and Fairhust, 2000) (۲ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) تمام خاک‌های مورد بررسی بدون تفاوت معنی‌دار با هم از کمبود روی رنج می‌برند. Mahmoudsoltani *et al*. (2017, 2016) نشان دادند که با مصرف ۵ و ۱۰ کیلوگرم روی در هکتار بصورت مخلوط با خاک میزان روی قابل‌جذب خاک افزایش چشمگیری در مراحل مختلف رشد یافت.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه عامل‌های اصلی (نوع کود، روش مصرف کود و برهم‌کنش آنها بر ارتفاع بوته برنج رقم محلی هاشمی در سطوح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورهای اصلی نشان داد اثر نوع کود بر این صفت نشان از اختلاف معنی‌دار آنها با هم و با شاهد (بدون مصرف کود روی) داشته و بیشترین میزان افزایش ناشی از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲٪ (۱۳۱/۲ سانتی‌متر) بوده که نسبت به شاهد (۱۲۴/۲ سانتی متر) ۵/۶ درصد افزایش را نشان می‌دهد که البته با کود اکسید روی (۱۲۹/۸ سانتی‌متر- ۴/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) اختلاف معنی‌داری نشان نداده است. بررسی تأثیر روش مصرف کود به تنهایی نیز حاکی از آن است که مصرف خاکی (۱۳۰/۵ سانتی‌متر) بیشترین تأثیر معنی‌دار (۵/۱ درصد نسبت به شاهد) را بر صفت ارتفاع بوته داشت. اگرچه این روش مصرف با روش محلول‌پاشی سه مرحله‌ای (در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، یک هفته پیش از گلدهی و شروع رسیدن دانه) (۱۲۸/۵ سانتی‌متر- ۳/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) تفاوت معنی‌داری نداشته است (جدول ۳). همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار بر این صفت داشته و نتایج مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب‌های تیماری بدون تفاوت معنی‌دار برای رقم هاشمی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی (۱۳۵/۷ سانتی‌متر) و مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع Zn- EDTA بوده (۱۳۴/۷ سانتی‌متر) که نسبت به شاهد (۱۲۴/۲ سانتی‌متر) به‌ترتیب ۹/۴ و ۸/۵ درصد افزایش به ثبت رسیده است. یافته‌های Slaton *et al*.(2005) در بررسی تأثیر نوع و زمان مصرف کودهای حاوی روی (سولفات روی، لیگنو سولفات‌روی و دو نوع مختلف از اکسی سولفات) بر صفات برنج در چهار مزرعه با محتوای روی قابل‌جذب متفاوت حاکی از آن است که هر چه مقدار روی

قابل‌جذب کمتر باشد میزان تاثیرپذیری‌اش از تیمارهای کاربردی در مقایسه با شاهد زیادتر خواهد بود. Chakeralhosseini *et al.* (2009) در بررسی تأثیر میزان، منبع و روش مصرف روی بر صفات کمی و کیفی برنج رقم چرام نشان داد که تمامی روش‌های مصرف و منابع کود روی بر عملکرد این رقم تأثیر داشته ولی بیشترین اثر (افزایش بیش از ۵۰ درصدی) ناشی از مصرف خاکی ۴۰ کیلوگرم روی در هکتار و محلول‌پاشی سه در هزار سولفات‌روی به ثبت رسیده است. Shivay *et al.* (2008; 2015) بر این نکته تاکید داشتند عناصر کم‌مصرفی مانند روی هرگاه با بنیان‌های اسیدی مانند سولفات مصرف شوند چون در محل پخش شرایط اسیدی‌تری ایجاد می‌کنند بهتر از سایر منابع کودی مانند اکسید و یا کلات‌ها می‌تواند به جذب روی کمک کرده و منجر به بهبود شرایط رشد و نموی گیاه برنج بشوند.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر نوع و روش مصرف کود روی بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکردبرنج رقم هاشمی و میزان روی قابل‌جذب در خاک‌های مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	صفات اندازه‌گیری شده						
		طول خوشه‌وزن هزاردانه‌عملکرد دانه			روی قابل‌جذب خاک	تعداد خوشه‌چه در	تعداد دانه در خوشه‌عملکرد کاه ارتفاع بوته		تعداد کل پنجه
		سانتی‌متر	گرم	گرم	میلی‌گرم در کیلوگرم	خوشه	گرم	سانتی‌متر	
سال	۱	۲۰/۰۵*	۸/۰۰ns	۶/۶۰*	۶/۸۵**	۰/۱۲ns	۵/۵۵ns	۳۸۰/۴۲**	۱/۶۸ns	۶/۷۲ns
تکرار(سال)	۴	۱۲/۱۰**	۲/۴۱ns	۲/۹۵ns	۰/۰۰ns	۲/۴۸*	۴/۲۲ns	۰/۱۷ns	۵/۲۳ns	۱۰/۱۸ns
نوع کود روی	۳	۱۴/۷۰**	۵۵/۰۰**	۲۷۰/۴۹**	۳۲/۶۳**	۹/۸۳**	۱۳۳/۵۵**	۷۴۵/۳۲**	۱۸۰/۰۵**	۱۷۱/۶۸**
روش مصرف کود روی	۲	۱۲/۳۸*	۱۵/۰۴**	۳۰۶/۴۶**	۴/۷۳**	۲/۷۲ns	۷/۳۸ns	۵۰۲/۰۹**	۱۹۳/۱۷**	۱۲/۳۴ns
سال× نوع کود روی	۳	۵/۰۵ns	۲/۰۴ns	۳/۸۲ns	۱/۶۷**	۰/۱۲ns	۲/۴۴ns	۸۳۰/۸۳**	۱/۰۱ns	۳/۷۲ns
سال ×روش مصرف کود روی	۲	۰/۳۸ns	۷/۰۴ns	۱۰/۰۲**	۳/۳۳**	۰/۰۰ns	۱/۳۸ns	۲/۸۳**	۰/۰۵ns	۸/۶۸ns
نوع کود ×روش مصرف کود روی	۶	۱/۸۷**	۱۰/۹۳**	۱۳۶/۷۸**	۴/۵۹**	۱/۰۹ns	۱۹/۷۴*	۱۶۸/۱۷**	۶۲/۸۷**	۲۵/۹۳**
سال× نوع کود ×روش مصرف کود روی	۶	۰/۹۴ns	۲/۱۹ns	۵/۰۲**	۰/۸۵**	۰/۰۰ns	۱/۶۱ns	۱۸/۰۹**	۰/۰۶ns	۲/۹۰ns
اشتباه آزمایش		۲/۹۳	۲/۵۱	۱/۵۲	۰/۰۰۳	۰/۹۴	۱۱/۰۵	۰/۲۳	۱۳/۷۵	۵/۹۹
ضریب تغییرات		۷/۴۷	۷/۷۲	۴/۴۶	۱/۳۹	۱۱/۲۸	۱۴/۷۱	۱/۲۳	۲/۸۹	۱۰/۹۵

ns، * و ** به ترتیب عبارتند از عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح گوناگون نوع و روش مصرف کود روی بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی و میزان روی قابل اجذب در خاک‌های مختلف

تیمار	سطوح	صفات اندازه‌گیری شده							
		طول خوشه‌وزن هزاردانه‌عملکرد دانه			روی قابل‌جذب خاک	تعداد خوشه‌چه در	تعداد دانه در خوشه‌عملکرد کاه و کلش ارتفاع بوته		تعداد کل پنجه
		سانتی‌متر	گرم	گرم	میلی‌گرم در کیلوگرم	خوشه	گرم	سانتی‌متر	
نوع کود	سولفات‌روی	۲۳/۷۲a	۲۲/۰۰a	۲۷/۸۳a	۵/۰۲a	۹/۱۱a	۲۵/۴۴a	۴۶/۲۵a	۱۳۱/۲۲a	۲۴/۷۸a
	اکسیدروی	۲۳/۵۵ab	۲۱/۶۷a	۲۲/۱۹b	۴/۹۹a	۸/۸۸a	۲۳/۶۷ab	۴۲/۱۸b	۱۲۹/۷۸a	۲۳/۵۵a
	Zn EDTA	۲۲/۴۴bc	۲۰/۱۷b	۲۱/۷۲b	۴/۳۷ab	۸/۸۸a	۲۲/۳۳b	۳۷/۱۹۸c	۱۲۶/۶۶b	۲۳/۲۷a
	بدون کود	۲۱/۸۳c	۱۸/۱۷c	۱۸/۵۰c	۲/۱۷c	۷/۵۰b	۱۹/۰۰c	۳۱/۱۸d	۱۲۴/۱۷c	۱۷/۸۳b
روش مصرف	خاکی	۲۳/۶۷a	۲۱/۳۷a	۲۵/۳۲a	۴/۵۳a	۸/۹۵a	۲۳/۰۸a	۴۳/۲۶a	۱۳۰/۴۶a	۲۳/۱۷a
	محلول‌پاشی	۲۲/۷۵ab	۲۰/۲۹b	۲۲/۸۷b	۲/۵۴b	۸/۵۴ab	۲۲/۷۵a	۴۰/۵۹b	۱۲۸/۵۴a	۲۲/۱۲a
	آغشته کردن ریشه	۲۲/۲۵b	۱۹/۸۳b	۱۹/۴۸c	۱/۴۸c	۸/۲۹b	۲۲/۰۰a	۳۴/۳۵b	۱۲۴/۸۷b	۲۱/۸۰a

حروف مشابه در جدول تفاوت معنی‌دار ندارند

تعداد کل پنجه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فقط عامل اصلی نوع کود ($p\leq0.01$) و برهم‌کنش نوع کود و روش مصرف ($p\leq0.01$) بر تعداد کل پنجه برنج رقم محلی هاشمی تأثیر معنی‌دار داشته و عامل روش مصرف تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات ساده نوع کود بر این صفت نیز نشان از اختلاف معنی‌دار آنها با هم و با شاهد (بدون مصرف کود روی) داشته و بیشترین میزان افزایش ناشی از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲٪ (۲۴/۸ عدد) بوده که نسبت به شاهد (۱۷/۸ عدد) ۳۸/۹ درصد افزایش را نشان می‌دهد که البته با کود اکسیدروی (۲۳/۵عدد- ۳۲/۱ درصد افزایش نسبت به شاهد) و Zn-EDTA (۲۳/۲۷ عدد- ۳۰/۵۰ درصد افزایش نسبت به شاهد) اختلاف معنی‌داری نشان نداده است. بررسی تأثیر روش مصرف کود به تنهایی نیز حاکی از آن است که مصرف خاکی (۲۳/۲ عدد) از نظر عددی و نه معنی‌داری بیشترین تأثیر را بر این صفت داشت. اگرچه این روش مصرف با روش محلول‌پاشی سه مرحله‌ایی (در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، یک هفته پیش از گلدهی و شروع رسیدن دانه) (۲۲/۲ عدد) و آغشته کردن ریشه (۲۱/۸ عدد) تفاوت معنی‌داری نداشته است (جدول ۳). همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش مثبت و معنی‌دار عامل‌های کاربردی بر این صفت

بوده و نتایج مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب تیماری برای رقم هاشمی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی (۲۷/۰ عدد) و مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع اکسیدروی (۲۵/۵عدد) که نسبت به شاهد (۲۱/۸ عدد) به‌ترتیب ۵۱/۴۰ و ۴۳/۰ درصد افزایش به ثبت رسیده است که تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. براساس نتایج این پژوهش مصرف روی در میزان، روش و نوع کود به‌طور موثری توانسته است منجر به افزایش تعداد پنجه کل بشود. اگرچه سولفات‌روی به‌علت حلالیت بیشتر و در نتیجه آزادسازی سریع‌تر روی و توان تولید محیط اسیدی‌تر نسبت به سایر روش‌ها، و روش مصرف خاکی نیز بعلت افزایش فراهمی روی در خاک پیش از انتقال گیاهچه در بین انواع کود مصرفی موثرتر بوده است. Cakmak (2009)، Rehman *et al*. (2012)، Shivay *et al*. (2015) و Ahmad *et al*. (2012) بر این نکته تاکید دارند که مصرف خاکی سولفات‌روی به دلائل ذکر شده راهکاری مناسب برای بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و عملکردی برنج در اراضی با کمبود روی است. چرا که عنصر روی با تأثیر بر بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی گیاه مانند متابولیسم اکسین و فعالیت آنزیم‌ها و سنتز نوکلئوتیدها نقش مؤثری بر تولید پنجه در گیاهان زراعی داشته و بنابراین با افزایش میزان روی قابل‌جذب خاک، تعداد پنجه بارور در برنج افزایش یافت (Doberman and Fairhurst, 2000). مطالعات نشان داده است که کاربرد روی به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار به شکل سولفات‌روی موجب افزایش معنی‌دار تعداد پنجه در کپه برنج ارقام محلی و اصلاح شده، گردید (Mahmoudsoltani *et al*., 2016 and 2017). از طرف دیگر Shivay *et al*. (2010)، Singh *et al*. (2014) و Kumar *et al*. (2020) نیزگزارش نمودند که کاربرد عناصر کم‌مصرف به ویژه از طریق محلول‌پاشی در مراحل مهم رشد سبب افزایش جذب این عناصر شده و در نتیجه سبب بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی و انتقال مجدد این عناصر در اندام‌های گیاه برنج و با بهبود اجزای عملکرد به عملکرد بیشتر و تولید دانه با کیفیت‌تر می‌انجامد.

جدول شماره ۴- مقایسه میانگین برهم کنش سطوح گوناگون نوع و روش مصرف کود روی بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی و میزان روی قابل‌جذب در خاک‌های مختلف

تیمارهای آزمایشی		صفات اندازه‌گیری شده							
		روی قابل‌جذب خاک	طول خوشه	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	تعداد خوشه‌چه در خوشه	تعداد دانه در خوشه	عملکرد کاه و کلش	ارتفاع بوته	تعداد کل پنجه
نوع کود	روش مصرف	میلی‌گرم در کیلوگرم	سانتی‌متر	گرم	گرم			گرم	سانتی‌متر	
سولفات‌روی	خاکی	۶/۶۱a	۲۵/۱۷a	۲۳/۶۷a	۳۶/۷۵a	۱۰/۰۰a	۲۸/۰۰a	۵۲/۱۰a	۱۳۵/۷a	۲۷/۰۰a
سولفات‌روی	محلول‌پاشی	۲/۲۳de	۲۳/۵۰ab	۲۲/۰۰ab	۲۴/۴۳c	۸/۳۳bc	۲۵/۰۰ab	۴۳/۹۰c	۱۳۱/۰۰ab	۲۵/۰۰abcd
سولفات‌روی	آغشته کردن ریشه	۲/۱۴ef	۲۲/۵۰ab	۲۰/۳۳bc	۲۲/۳۰d	۹/۰۰abc	۲۳/۳۳abc	۳۰/۵۳g	۱۲۷/۰۰bc	۲۲/۳۳bcd
اکسیدروی	خاکی	۵/۹۹b	۲۴/۳۳ab	۲۳/۶۷a	۲۸/۰۲b	۹/۳۳ab	۲۶/۰۰ab	۳۹/۳۳d	۱۲۶/۳۰bc	۲۵/۵۰ab
اکسیدروی	محلول‌پاشی	۲/۱۳d	۲۳/۵۰ab	۱۹/۶۷bc	۲۰/۵۲de	۸/۳۳bc	۲۱/۳۳bc	۳۷/۲۰f	۱۲۸/۰۰bc	۲۱/۳۳cde
اکسیدروی	آغشته کردن ریشه	۱/۹۹g	۲۲/۸۳ab	۲۱/۶۷ab	۱۹/۶۶e	۹/۰۰abc	۲۳/۶۷abc	۳۷/۴۳f	۱۲۵/۷۰bc	۲۳/۰۰abcd
Zn EDTA	خاکی	۳/۴۴c	۲۲/۳۳ab	۲۰/۰۰bc	۲۰/۵۲de	۹/۰۰abc	۲۲/۳۳ab	۳۹/۹۵d	۱۳۴/۷a	۲۴/۳۳abcd
Zn EDTA	محلول‌پاشی	۲/۱۷def	۲۲/۳۷ab	۲۱/۳۳ab	۲۵/۵۳c	۹/۰۰abc	۲۲/۶۷abc	۵۰/۵۶b	۱۳۱/۰۰ab	۲۱/۰۰de
Zn EDTA	آغشته کردن ریشه	۲/۲۵d	۲۲/۰۰b	۱۹/۶۷bc	۲۰/۵۲de	۸/۷۰abc	۲۲/۰۰bc	۳۸/۲۵e	۱۲۵/۳۳c	۲۱/۳۳de
بدون کود	خاکی	۱/۴۸h	۲۱/۸۳b	۱۸/۱۷c	۱۸/۵۰ef	۷/۵۰c	۱۹/۰۰c	۳۱/۱۸g	۱۲۴/۱۷cd	۱۷/۸۳e
بدون کود	محلول‌پاشی	۱/۴۸h	۲۱/۸۳b	۱۸/۱۷c	۱۸/۵۰ef	۷/۵۰c	۱۹/۰۰c	۳۱/۱۸g	۱۲۴/۱۷cd	۱۷/۸۳e
بدون کود	آغشته کردن ریشه	۱/۴۸h	۲۱/۸۳b	۱۸/۱۷c	۱۸/۵۰ef	۷/۵۰c	۱۹/۰۰c	۳۱/۱۸g	۱۲۴/۱۷cd	۱۷/۸۳e

حروف مشابه در جدول تفاوت معنی‌دار ندارند، اعداد ۱، ۲ ، ۳ و ۴ در تیمار نوع کود به ترتیب عبارتند از کود سولفات روی، اکسیدروی و Zn EDTA و بدون مصرف کود؛ اعداد ۱، ۲ و ۳ در تیمار روش مصرف به ترتیب عبارتند از : کاربرد خاکی، محلول‌پاشی و غوطه‌وری ریشه در محلول کود

تعداد کل پنجه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فقط عامل اصلی نوع کود ($p\leq0.01$) و برهم‌کنش نوع کود و روش مصرف ($p\leq0.01$) بر تعداد کل پنجه برنج رقم محلی هاشمی تأثیر معنی‌دار داشته و عامل روش مصرف تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات ساده نوع کود بر این صفت نیز نشان از اختلاف معنی‌دار آنها با هم و با شاهد (بدون مصرف کود روی) داشته و بیشترین میزان افزایش ناشی از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲٪ (۲۴/۸ عدد) بوده که نسبت به شاهد (۱۷/۸ عدد) ۳۸/۹ درصد افزایش را نشان می‌دهد که البته با کود اکسیدروی (۲۳/۵عدد- ۳۲/۱ درصد افزایش نسبت به شاهد) و Zn-EDTA (۲۳/۲۷ عدد- ۳۰/۵۰ درصد افزایش نسبت به شاهد) اختلاف معنی‌داری نشان نداده است. بررسی تأثیر روش مصرف کود به تنهایی نیز حاکی از آن است که مصرف خاکی (۲۳/۲ عدد) از نظر عددی و نه معنی‌داری بیشترین تأثیر را بر این صفت داشت. اگرچه این روش مصرف با روش محلول‌پاشی سه مرحله‌ایی (در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، یک هفته پیش از گلدهی و شروع رسیدن دانه) (۲۲/۲ عدد) و آغشته کردن ریشه

(۲۱/۸ عدد) تفاوت معنی‌داری نداشته است (جدول ۳). همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش مثبت و معنی‌دار عامل‌های کاربردی بر این صفت بوده و نتایج مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب تیماری برای رقم هاشمی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی (۲۷/۰ عدد) و مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع اکسیدروی (۲۵/۵عدد) که نسبت به شاهد (۲۱/۸ عدد) به‌ترتیب ۵۱/۴۰ و ۴۳/۰ درصد افزایش به ثبت رسیده است که تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. براساس نتایج این پژوهش مصرف روی در میزان، روش و نوع کود به‌طور موثری توانسته است منجر به افزایش تعداد پنجه کل بشود. اگرچه سولفات‌روی به‌علت حلالیت بیشتر و در نتیجه آزادسازی سریع‌تر روی و توان تولید محیط اسیدی‌تر نسبت به سایر روش‌ها، و روش مصرف خاکی نیز بعلت افزایش فراهمی روی در خاک پیش از انتقال گیاهچه در بین انواع کود مصرفی موثرتر بوده است. Cakmak (2009)، Rehman *et al*. (2012)، Shivay *et al*. (2015) و Ahmad *et al*. (2012) بر این نکته تاکید دارند که مصرف خاکی سولفات‌روی به دلائل ذکر شده راهکاری مناسب برای بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و عملکردی برنج در اراضی با کمبود روی است. چرا که عنصر روی با تأثیر بر بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی گیاه مانند متابولیسم اکسین و فعالیت آنزیم‌ها و سنتز نوکلئوتیدها نقش مؤثری بر تولید پنجه در گیاهان زراعی داشته و بنابراین با افزایش میزان روی قابل‌جذب خاک، تعداد پنجه بارور در برنج افزایش یافت (Doberman and Fairhurst, 2000). مطالعات نشان داده است که کاربرد روی به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار به شکل سولفات‌روی موجب افزایش معنی‌دار تعداد پنجه در کپه برنج ارقام محلی و اصلاح شده، گردید (Mahmoudsoltani *et al*., 2016 and 2017). از طرف دیگر Shivay *et al*. (2010)، Singh *et al*. (2014) و Kumar *et al*. (2020) نیزگزارش نمودند که کاربرد عناصر کم‌مصرف به ویژه از طریق محلول‌پاشی در مراحل مهم رشد سبب افزایش جذب این عناصر شده و در نتیجه سبب بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی و انتقال مجدد این عناصر در اندام‌های گیاه برنج و با بهبود اجزای عملکرد به عملکرد بیشتر و تولید دانه با کیفیت‌تر می‌انجامد.

طول خوشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که هر دو عامل اصلی (نوع کود ($p\leq0.01$) و روش مصرف کود($p\leq0.05$) و برهم‌کنش آنها ($p\leq0.01$) بر تعداد کل پنجه برنج رقم محلی هاشمی تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات ساده نوع کود بر این صفت نیز نشان از اختلاف معنی‌دار آنها با هم و با شاهد (بدون مصرف کود روی) داشته و بیشترین میزان افزایش ناشی از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲٪ (۲۳/۷ سانتی‌متر) بوده که نسبت به شاهد (۲۱/۸۳ سانتی‌متر) ۸/۷ درصد افزایش را نشان می‌دهد که البته با کود اکسیدروی(۲۳/۵ سانتی‌متر - ۷/۹ درصد افزایش نسبت به شاهد) اختلاف معنی‌داری نشان نداده است. بررسی تأثیر روش مصرف کود به تنهایی نیز حاکی از آن است که مصرف خاکی (۲۳/۷ سانتی‌متر) بیشترین تأثیر معنی‌دار را بر این صفت داشت. اگرچه این روش مصرف با روش محلول‌پاشی سه مرحله‌ایی (در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، یک هفته پیش از گلدهی و شروع رسیدن دانه) (۲۲/۷ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری نداشته است (جدول ۳). همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار برهمکنش مثبت و معنی‌دار عامل‌های کاربردی بر این صفت بوده و نتایج مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب تیماری برای رقم هاشمی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی (۲۵/۲ عدد) و مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع اکسیدروی (۲۴/۳عدد) که نسبت به شاهد (۲۱/۸ عدد) به‌ترتیب ۱۵/۳ و ۱۱/۵ درصد افزایش به ثبت رسیده است که تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. طول خوشه یک صفت ژنتیکی تقریبا ثابت است، اما عوامل اقلیمی و خاکی مختلف با توجه به ایجاد شرایط بهینه باعث تاثیرگذاری برطول خوشه می‌شوند. همچنین نتایج نشان داده است که ارقام برنج دارای عملکرد بالا دارای طول خوشه بزرگتری هستند(Allagholipoor *et al*., 2016). Rahman *et al*. (2011) و Mahmoudsoltani *et al*. (2016 and 2017) گزارش نمودند که طول خوشه برنج به ترتیب با مصرف خاکی ۳۰ و ۲۰کیلوگرم سولفات‌روی در هکتار افزایش یافت. تأثیر روی بر افزایش طول خوشه احتمالا به دلیل آن است که این عنصر در فعالیت آنزیم تریپتوفان سینتتاز به عنوان پیش ماده تولید اکسین موثر است. در نتیجه، با افزایش تولید اکسین و متعاقب آن افزایش رشد طولی ساقه و شاخساره‌ها دور از انتظار نخواهد بود. (Kumar *et al*., 2020). Shivay *et al*. (2015) نیز از افزایش ۸/۳ درصدی طول خوشه با مصرف ۵ کیلوگرم روی در هکتار به صورت خاکی گزارش نمود.

تعداد خوشه‌چه در خوشه (خوشه فرعی)

براساس نتایج تجزیه واریانس نوع کود($p\leq0.01$) به عنوان دو عامل اصلی و برهم‌کنش نوع کود در روش مصرف کود ($p\leq0.05$) بر تعداد خوشه‌چه در خوشه (خوشه فرعی) برنج رقم محلی هاشمی

تأثیر معنی‌دار داشته این در حالی است که روش مصرف کود بر این صفت تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول۲). مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورهای اصلی نشان داد اگرچه تمام انواع کود بر این صفت در مقایسه با شاهد تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته ولی منابع کود سولفات روی و اکسید روی با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند. بیشترین میزان تأثیر نوع کود مصرفی بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ناشی از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲٪ (۹/۱ عدد) و سپس اکسید روی (۸/۹ عدد) بوده که نسبت به شاهد (۷/۵ عدد) به ترتیب ۲۱/۳ و ۱۸/۷ درصد افزایش را در صفت تعداد خوشه‌چه در خوشه (خوشه فرعی) نشان می‌دهند. همچنین بررسی تأثیر روش مصرف کود به تنهایی نیز حاکی از آن است که مصرف خاکی (۹ عدد) و محلول‌پاشی سه مرحله‌ای (۸/۵ عدد) بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر بیشترین تأثیر معنی‌دار را بر این صفت داشته و به‌ترتیب سبب افزایش ۲۰ و ۱۳/۵ درصدی صفت تعداد خوشه‌چه در خوشه (خوشه فرعی) شده‌اند (جدول ۳). همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب تیماری برای رقم هاشمی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی (۱۰ عدد) بوده که نسبت به شاهد ۳۳/۳ درصد افزایش به ثبت رسیده است.

وزن هزاردانه

براساس نتایج تجزیه واریانس نوع کود($p\leq0.01$)، روش مصرف کود ($p\leq0.01$) به‌عنوان عامل‌های اصلی و برهم‌کنش آنها ($p\leq0.01$) بر وزن هزاردانه برنج رقم محلی هاشمی تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورهای اصلی نشان داد که اثر نوع کود بر این صفت حاکی از اختلاف معنی‌دار آنها با هم و با شاهد (بدون مصرف کود روی) بوده و بیشترین میزان افزایش ناشی از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲٪ (۲۲ گرم) بوده که نسبت به شاهد (۱۸/۲ گرم) ۲۰/۹ درصد افزایش را نشان می‌دهد که با سایر منابع کودی اختلاف معنی‌داری دارد. بررسی تأثیر روش مصرف کود به تنهایی نیز حاکی از آن است همه روش‌های مصرف منجر به افزایش وزن هزاردانه شده ولی بیشترین افزایش نسبت به شاهد مربوط به مصرف خاکی (۲۱/۴ گرم) و به میزان ۱۷/۶ درصد بود (جدول ۳). همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب تیماری برای رقم هاشمی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار و به ترتیب از منبع سولفات‌روی و اکسید روی (هر دو به میزان ۲۳/۷ گرم) بوده که نسبت به شاهد (عدم مصرف روی) (۱۸/۲ گرم) در حدود ۳۰/۳ درصد افزایش به ثبت رسیده است. براساس نظر Matsuzuki (2001) وزن هزاردانه در گیاه برنج از پایدارترین صفت‌ها بشمار می‌آید چرا که رشد دانه در این گیاه با پوست خارجی آن محدود است. علاوه بر آن وزن هزاردانه نقش بسیار مهمی در افزایش عملکرد دانه بازی می‌کند. با این وجود به نظر می‌رسد کاربرد کود روی با بهبود پرشدن دانه تأثیر مثبتی بر وزن هزاردانه داشته و باعث افزایش در این صفت شده است (Rahman *et al*., 2011). به نظر می‌رسد که افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف روی به دلیل افزایش مواد ذخیره شده و کاهش محدودیت منبع می‌باشد که موجب سرازیر شدن مواد پرورده به سمت دانه شده و دانه‌ی پرتری شکل می‌گیرد (Broadly *et al*., 2007). سایر محققین نیز اثر مثبت کاربرد عنصر روی را بر افزایش وزن هزار دانه گزارش کرده‌اند که این افزایش به احتمال زیاد مربوط به تأثیر عنصر روی بر هورمون ایندول استیک اسید می‌باشد. همچنین گزارش شده است که کمبود روی، موجب می‌گردد تا دانه‌های ضعیفی تشکیل گردد (Joshi and Pendi, 2005). همچنین، محققان مهم‌ترین دلیل افزایش وزن هزاردانه را افزایش و بهبود فرآیند انتقال مجدد مواد غذایی و افزایش انتقال اولیه به وسیله تحریک هورمون‌ها و افزایش انتقال در آوند آبکش دانستند و گزارش نمودند که تأثیر سولفات‌روی بر افزایش کارایی آوند آبکش در انتقال مواد غذایی به دانه و پر شدن آن از مهم‌ترین عوامل تأثیر سولفات‌روی بر افزایش وزن هزار دانه است (Jiang *et al*., 2007). Shivay *et al*. (2015) گزارش نمودند که مصرف هر مقدار کود روی از منبع سولفات‌روی (۱و ۵ کیلوگرم در هکتار) و هر دو روش مصرف خاکی و محلول‌پاشی سبب افزایش وزن هزاردانه در رقم باسماتی شده است. در دو آزمایش دیگر نیز بیشترین وزن هزاردانه از مصرف ۱۰ کیلوگرم روی در هکتار به دست آمد (Mahmoudsoltani *et al*., 2016 and 2017).

تعداد دانه در خوشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اگرچه نوع کود ($p\leq0.01$) به‌عنوان یکی از عامل‌های اصلی و برهم‌کنش آنها ($p\leq0.05$) بر تعداد دانه در خوشه برنج رقم محلی هاشمی تأثیر معنی‌دار داشتند ولی اثر روش مصرف بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورهای اصلی نشان داد که اثر نوع کود بر این صفت حاکی از اختلاف معنی‌دار آنها با هم و با شاهد (بدون مصرف کود روی) بوده و بیشترین میزان افزایش ناشی از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲٪ (۲۵/۴عدد) بوده که نسبت به شاهد (۱۹ عدد) ۳۳/۷ درصد افزایش را نشان می‌دهد که اگرچه با Zn-EDTA اختلاف معنی داری دارد ولی با

اکسید روی اختلاف معنی‌داری نداشت. بررسی تأثیر روش مصرف کود به‌تنهایی نیز حاکی از آن است که اگرچه همه روش‌های مصرف منجر به افزایش عددی تعداد دانه در خوشه شده ولی تفاوت معنی داری با هم نداشتند. با این حال بیشترین افزایش نسبت به شاهد مربوط به مصرف خاکی (۲۳/۱عدد) بود (جدول ۳). همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب تیماری برای رقم هاشمی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار و به ترتیب از منبع سولفات‌روی (۲۸/۰ عدد) و اکسید روی (۲۶ گرم) بوده که نسبت به شاهد (عدم مصرف روی) (۱۹ عدد) به ترتیب ۴۷/۴ و ۳۶/۸ درصد افزایش به ثبت رسیده است. Zhu *et al*., (2008) و Broadly *et al*. (2007) تاکید داشتند که روی با نقش کلیدی در ساخت کلروفیل و در نتیجه محتوای کلروفیل بالاتر می‌تواند سبب افزایش تعداد دانه از طریق افزایش میزان مواد فتوسنتزی شود. از طرف دیگر افزایش کربوهیدراتهای ناشی از فعالیتهای فتوسنتز برای دوره طولانی ممکن است باعث انتقال موثر مواد غذایی به غلاف (دانه)، در نتیجه تعداد دانه‌های‌پر را در گیاهان زراعی به ویژه برنج افزایش داده و منجر به بهبود عملکرد گیاه شود. Mahmoudsoltani *et al*. (2016, 2018, 2019 and 2020)، Ram *et al*.(2016) و Khampuang *et al*. (2020) در مطالعات جداگانه گزارش کردند که مصرف روی از منابع کودی مختلف (سولفات روی، اکسیدروی و Zn-EDTA) به روش خاکی و محلول‌پاشی و یا درترکیب با همدیگر سبب افزایش تعداد دانه و همچنین تعداد دانه پر در برنج شده است. اگرچه Khan *et al*. (2003) نیز گزارش نمودند فرو بردن ریشه گیاهچه برنج در محلول ۰/۱ درصد سولفات‌روی در خزانه برنج سبب افزایش عملکرد دانه برنج (تا ۴۱ درصد بیشتر از شاهد) شده است. هرگاه عنصر روی به صورت نمک‌های اسیدی مانند سولفات‌روی به خاک افزوده شود با تولید محیط اسیدی‌تر نسبت به سایر منابع کودی مانند اکسید و یا کلات ها جذب روی را تسریع کرده و سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج می‌شود (Shivay *et al*. 2008; 2015).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که نوع کود و روش مصرف کود به عنوان عامل‌های اصلی و برهم‌کنش عامل‌های اصلی در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه برنج رقم محلی هاشمی تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورهای اصلی، اثر نوع کود بر این صفت حاکی از اختلاف معنی‌دار آنها با هم و با شاهد (بدون مصرف کود روی) داشته و بیشترین میزان افزایش ناشی از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲٪ (۲۷/۸ گرم) بوده که نسبت به شاهد (۱۸/۵ گرم) ۵۰/۳ درصد افزایش را نشان می‌دهد که با سایر منابع اختلاف معنی‌داری دارد. همچنین بررسی تأثیر روش مصرف کود به تنهایی نیز حاکی از آن است همه روشهای مصرف منجر به افزایش عملکرد دانه شده و به ترتیب مصرف خاکی (۲۴/۳ گرم- ۳۶/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد- بیشترین تأثیر)، محلول‌پاشی سه مرحله‌ای و غوطه وری ریشه بیشترین تأثیر معنی‌دار را بر این صفت داشته و همه آنها با هم نیز اختلاف معنی‌دار دارند (جدول ۳). همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل های مورد آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار نوع کود و روش مصرف کودهای حاوی روی بر این صفت داشته و نتایج مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب تیماری برای رقم هاشمی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی (۳۶/۸ گرم) بوده که نسبت به شاهد(عدم مصرف روی) در حدود ۸۰ درصد افزایش به ثبت رسیده است (جدول ۴). روی نقش اصلی در فرآیند گرده‌افشانی، تشکیل اندام‌های زایشی نر و ماده و فرآیند تشکیل دانه را در گیاه برنج دارد (Wijebandara *et al*., 2009). ولی واکنش گیاه برنج به عنصر روی به میزان روی خاک و اسیدیته خاک بستگی تام دارد (Slaton *et al*., 2001). از آنجائی که خاک‌های شالیزاری مورد مطالعه دارای اسیدیته نزدیک به خنثی می‌باشند به نظر می‌رسد مصرف سولفات‌روی نسبت به سایر منابع کودی مصرفی با تولید محیط اسیدی سبب حلالیت بیشتر روی شده و به جذب بیشتر آن کمک می‌کند. از طرف دیگر سولفات‌روی مقدار بیشتری روی قابل حل در آب نسبت به سایر کودها داشته و مقدار کافی روی برای رشد گیاه فراهم کرده و سبب افزایش ۲۶، ۱۶، ۷۶ و ۷۱ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد در چهار خاک شالیزاری با کمبود روی در آمریکا شد (Slaton *et al*., 2005). با بررسی اثرات میزان، منبع و روش مصرف کود روی بر صفات کمی و کیفی برنج رقم چرام گزارش شده که مصرف روی از منبع سولفات‌روی به طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد (۵۶/۹ درصد) شد (Chakeralhosseini *et al*., 2009). پژوهشگران دیگری نیز گزارش کردند که مصرف سولفات روی، ارتفاع بوته، طول خوشه، میزان پر شدن دانه، وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (Zhu *et al*., 2008). Ahmad *et al*. (2012) گزارش نمودند که مصرف کودهای حاوی روی در هر روش مصرف سبب افزایش میزان عملکرد دانه شده و نتایج نشان داده که بیشترین تأثیر مربوط به مصرف خاکی ۶ میلی‌گرم روی در کیلوگرم روی از منبع سولفات‌روی بوده (۳۳/۷

گرم در هر گلدان) بوده که نسبت به شاهد (۲۶/۱ گرم) ۳۲ درصد افزایش داشت. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های Mahmoudsoltani *et al*. (2016, 2017, 2018, 2020) در یک راستا است.

عملکرد کاه و کلش

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که نوع کود و روش مصرف کود به عنوان عامل‌های اصلی و برهم‌کنش عامل‌های اصلی در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد کاه و کلش برنج رقم محلی هاشمی تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورهای اصلی، اثر نوع کود بر این صفت حاکی از اختلاف معنی‌دار آنها با هم و با شاهد (بدون مصرف کود روی) داشته و بیشترین میزان افزایش ناشی از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲٪ (۴۶/۳ گرم) بوده که نسبت به شاهد (۳۱/۲ گرم) ۴۸/۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد که با سایر منابع اختلاف معنی‌داری دارد. همچنین بررسی تأثیر روش مصرف کود به تنهایی نیز حاکی از آن است همه روش‌های مصرف منجر به افزایش عملکرد دانه شده و به‌ترتیب مصرف خاکی (۴۳/۳ گرم- ۳۸/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد- بیشترین تأثیر)، محلول‌پاشی سه مرحله‌ای و غوطه وری ریشه بیشترین تأثیر معنی‌دار را بر این صفت داشته و همه آنها با هم نیز اختلاف معنی‌دار دارند (جدول ۳). همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار نوع کود و روش مصرف کودهای حاوی روی بر این صفت داشته و نتایج مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب تیماری برای رقم هاشمی مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی (۵۲/۱ گرم) بوده که نسبت به شاهد(عدم مصرف روی) در حدود ۶۷/۸ درصد افزایش به ثبت رسیده است (جدول ۴). بنظر می‌رسد دارا بودن کمترین میزان ماده آلی و مقدار روی نسبت به خاک‌های دیگر می‌تواند بخشی از تأثیر محلول‌پاشی را بر عملکرد کاه و کلش توجیه نماید. چرا که کمبود ماده آلی احتمال تشکیل کمپلکس‌های آلی- روی را کاهش داده و روی کمتری در خاک برای استفاده گیاه ذخیره می شود. همچنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار نوع خاک و روش مصرف کود بر این صفت داشته و نتایج مندرج در جدول (۴) نشان می‌دهد که موثرترین ترکیب تیماری برای رقم هاشمی محلول‌پاشی ۵ در هزار سولفات‌روی و در خاک شماره۲ (۵۸/۳ گرم) بوده که نسبت به شاهد (عدم مصرف روی) در همان خاک بیش از ۵۰ درصد افزایش به ثبت رسیده است. بنظر می‌رسد عملکرد زیستی نشان دهنده میزان تجمع ماده خشک در گیاه می باشد (Uphoff, 2005). افزایش عملکرد ماده خشک با مصرف عنصر کم‌مصرف روی به دلایل مختلفی از جمله افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش آنزیم کربونیک انهیدراز که در تمامی بافت‌های فتوسنتزی حضور دارد و برای بیوسنتز کلروفیل مورد نیاز است، بهبود عملکرد فتوسیستم‌های نوری، افزایش فعالیت فسفواینول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش جذب نیتروژن و فسفر در حضور عنصر روی مرتبط می‌باشد. تمامی عوامل مذکور در افزایش شاخص‌های رشد از قبیل تعداد و اندازه برگ، ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی مؤثر می‌باشد و از این طریق عملکرد ماده خشک افزایش می‌یابد. گزارش شده است که عنصر روی میزان فتوسنتز و دوام سطح برگ را افزایش داد و در نتیجه میزان تولید مواد پرورده افزایش می¬یابد (Yousefi and Zandi, 2012). Ahmad *et al*. (2012) در بررسی کاربرد همزمان منابع و روش‌های مصرف کود روی در ترکیب با ماده آلی نشان داد که تمامی روش های مصرف درترکیب با ماده آلی بیشترین تأثیر را در افزایش میزان عملکرد کاه و کلش داشته و نتایج نشان داده که بیشترین تأثیر مربوط به مصرف خاکی ۶ میلی‌گرم روی در کیلوگرم روی از منبع سولفات‌روی به‌همراه ۵ درصد وزنی خاک کود آلی بوده (۷۵ گرم در هر گلدان) بوده که نسبت به شاهد (۵۴ گرم) ۴۰ درصد افزایش داشت. این نکته بر این تاکید دارد که اگر خاک دچار کمبود ماده آلی باشد در مقایسه با خاکهایی با ماده آلی مناسب‌تر توانایی کمتری در افزایش حلا لیت و قابلیت جذب روی داشته و تأثیر مصرف خاکی آنرا کاهش می‌دهد (Aziz Gurmani *et al*., 2012; Hussain *et al*., 2012 a, ؛*et al*., 2010 b). از انجائی که کارآیی مصرف کودهای حاوی روی به حلالیت آنها در محیط خاک بستگی دارد. و در این میان کود سولفات‌روی نسبت به بسیاری از منابع از حلالیت بیشتری به ویژه در شرایط اسیدیته خنثی و قلیایی برخوردار است، در نتیجه منبعی موثر با سرعت تأثیر سریع بوده و میزان روی قابل‌جذب را بسرعت افزایش داده و در حفظ آن نیز توانمندتر است (Hussain eta al., 2011; Rehman *et al*., 2012). اگرچه سایر منابع مانند Zn-EDAT و Zn-DTPA به‌طور پایای با سولفات‌روی ولی با قیمت بیشتر می‌تواند منجر به افزایش عملکرد کاه و دانه برنج شود.

نتیجه‌گیری

مصرف عنصر روی در قالب کودهای حاوی روی و روش‌های گوناگون کاربرد رایج‌ترین راهکار مقابله با کمبود مهمترین عنصر

کم‌مصرف در اراضی شالیزاری بوده و از مهمترین روش‌های به‌زراعی برای افزایش عملکرد برنج می‌باشد. داده‌های این پژوهش حاکی از این است که محدوده گسترده و ترکیبات گوناگونی از کودهای حاوی روی، روش‌های مصرف و مقادیر مختلف روی می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای مقابله با کاهش عملکرد در خاک‌های با کمبود روی در نظر گرفته شود که همگی به‌صورت معنی‌داری سبب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد شده است. اما از بین همه آنها مصرف خاکی ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی و سپس محلول‌پاشی سه مرحله‌ای در مراحل مهم رشد گیاه برنج مانند حداکثر پنجه‌زنی، پیش از گلدهی و آغاز رسیدن دانه می‌تواند سبب بهبود چشم‌گیر عمکرد دانه برنج رقم هاشمی در خاک‌های با کمبود روی بشود. نتایج همچنین نشان می‌دهد بیشترین میزان افزایش عملکرد دانه ناشی از مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات‌روی ۲۲٪ (۳۶/۸ گرم در گلدان) بوده که نسبت به شاهد (۱۸/۵ گرم در هر گلدان) در حدود ۸۰ درصد افزایش را نشان می‌دهد که با سایر منابع اختلاف معنی‌داری دارد. همچنین این ترکیب تیماری بر عملکرد کاه رقم هاشمی نیز تأثیر معنی‌دار و مثبت داشته (۵۲/۱ گرم در هر گلدان) بوده که نسبت به شاهد (عدم مصرف روی) در همان خاک بیش از ۶۸ درصد افزایش به ثبت رسانده است. اگرچه در هر دو صفت عملکرد دانه و عملکرد کاه محلول پاشی با کودهای حاوی روی راه حل جایگزین شناخته شده است. با توجه به نتایج مثبت این پژوهش پیشنهاد می‌شود نتایج آن در آزمون مزرعه‌ای و همچنین با مقادیر متنوع‌تر و در خاک‌ها و با ارقام گوناگون نیز تکرار شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abilay Jr, W.P. and De Datta, S.K., 1978. Management practices for correcting zinc deficiency in transplanted and direct-seeded wetland rice. *Philippine Journal of Crop Science*, *3*(3), pp.190-194.

Ahmad, H.R., Aziz, T., Hussain, S., Akraam, M., Sabir, M. and Hanafi, M.M., 2012. Zinc-enriched farm yard manure improves grain yield and grain zinc concentration in rice grown on a saline-sodic soil. *International journal of agriculture and biology*, *14*(5).

Allagholipoor, M. (2016). Analysis of grain yield stability of new rice (Oryza sativa L.) genotypes originated from Iranian local cultivars. *Iranain journal of crop science*, 18(301), 289-294.

Alloway, B. J. (2009). Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*, *31*(5), 537-548.

Aziz, T., Ullah, S., Sattar, A., Nasim, M., Farooq, M. and Khan, M.M., 2010. Nutrient availability and maize (Zea mays) growth in soil amended with organic manures. *Int. J. Agric. Biol*, *12*(4), pp.621-624.

Beebout, S.J., Tuyogon, D., Rubianes, F., Castillo, O., Larazo, W., Bunquin, M. and Laureles, E., 2010. Improved zinc management strategies for rice scientists and farmers. In *Proceedings of 2010 International Annual Meetings of ASA-CSSA-SSSA, October* (Vol. 31).

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., and Lux, A. 2007. Zinc in plants. *New Phytol.* 173, 677–702.

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic bio-fortification? *Plant and Soil*, 302(1-2),1-17.

Chakeralhosseini, M. R., Mohtashami, R., and Owliaie, H. R. (2009). Effects of rate, source, and method of zinc fertilizer application on quantitative and qualitative characteristics of rice (Choram 1). *Journal of Research in Agricultural Science*, 5 (1), 33-43. (In Farsi).

Dobermann, A., Cassman, K. G., Mamaril, C. P., Sheehy, J. E. (1998). Management of phosphorus, potassium, and sulfur in intensive, irrigated lowland rice. *Field Crop Research*, 56, 113–138.

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.

FAO. (2018). Rice market monitor. Vol. XVI, *Trade and Markets Division*. Rome.

Gao, X., Hoffland, E., Stomph, T., Grant, C.A., Zou, C. and Zhang, F., 2012. Improving zinc bioavailability in transition from flooded to aerobic rice. A review. *Agronomy for sustainable development*, *32*(2), pp.465-478.

Graham, R., Senadhira, D., Beebe, S., Iglesias, C. and Monasterio, I., 1999. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. *Field crops research*, *60*(1-2), pp.57-80.

Gupta, N., Ram, H. and Kumar, B., 2016. Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *15*(1), pp.89-109.

Hafeezullah, B., 2010. Evaluation of Malaysian rice genotypes for adaptability in zinc deficient soil (Doctoral dissertation, Universiti Putra Malaysia).

Hoseinzadeh, H., Mahdavi Damghani, A., and Delkhosh, B. (2012). The effects of zinc sulphate foliar application on yield and yield components of rice (Shiroodi Cultivar). *The Journal of New Findings of Agriculture*, 7(1), 47-55.(In Farsi).

Hussain, S., Maqsood, M. A., Rengel, Z. and Aziz, T.

application of nutrients on soybean. *Journal of Plant Development Sciences*, *9*(3), 261-264.

Lindsay, W.L., 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. *Micronutrients in agriculture*, pp.41-57.

Lombi, E., Smith, E., Hansen, T.H., Paterson, D., De Jonge, M.D., Howard, D.L., Persson, D.P., Husted, S., Ryan, C. and Schjoerring, J.K., 2011. Megapixel imaging of (micro) nutrients in mature barley grains. *Journal of experimental botany*, *62*(1), pp.273-282.

Mahmoudi, M., Malakooti, M. J., and Ramezanpour, M. (2004). A study on the effects of zinc sulphate on two varieties of rice in the east of Mazandaran province. Journal Of Science And Technology Of Agriculture And Natural Resources,11(2), 55-63.

Mahmoudoltani, S. (2019). Quantitative and qualitative improvement of rice grain in paddy field through macro and micronutrient management strategies (focus on phosphorus and zinc). Final project report. Rice research institute of Iran. Rasht. Iran.

Mahmoudsoltani S, Mohamed, M.H., Samsuri, A., Syed, M. and Sharifah, K. (2017). Lime and Zn application effects on soil and plant Zn status at different growth stages of rice in tropical acid sulphate paddy soil. *Azarian Journal of Agriculture*, *4*(4), 127-138.

Mahmoudsoltani, S. (2020b). Zn biofortification, grain protein content, and zinc and phosphorus content of rice tissues at different growth stages affected by zinc and phosphorus foliar application. Iran J Soil Water Res. (Accepted).

Mahmoudsoltani, S. 2018. Zinc deficiency, causes, symptoms and solutions. Technical Bulletin. Rice research institute of Iran.31p.

Mahmoudsoltani, S., Allahgholipoor,M., Shakoori, M. and Poursafar tabalvandani, A. (2020a). Effect of basal and foliar application of zinc sulphate fertilizer on zinc uptake, yield and yield components of rice (Hashemi cultivar). Iranian Journal of Soil and Water Researches. (in press)(in Persian with English abstract).

Mahmoudsoltani, S., Hanafi, M. M., Samsuri, A. W., Muhammed, S. K. S. and Hakim, M. A. (2016). Rice growth improvement and grains bio-fortification through lime and zinc application in zinc deficit tropical acid sulphate soils. *Chemical Speciation & Bioavailability*, *28*(1-4), 152-162.

Mahmoudsoltani, S., Mohamed, M. H., Abdul, W. S. and Sharifah, K. (2017). Lime and Zn interactions effects on yield, yield component, and quality of rice in Zn deficit tropical paddy soil. *Azarian Journal of Agriculture*, *4*(5), 185-192.

Malakooti, M. J. and Tehrani, M. M. (1993). The Role of Micro Nutrients in Crop Yield and Quality Improvement (Micro-elements with Grand Effect). *Tarbiat Modares University, Tehran (In Persian)*.

Malakooti, M. J., and Kavoosi, M. (2004). Balance

(2012). Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. *Plant and Soil*, *361*(1-2), 279-290.

Javaherdashti, M., and Esfehani, M. 2002. Upland rice. Agricultural Science Publication. 128 page.

Jiang, W., Struik, P. C., Lingna, J., Van Keulen, H., Ming, Z. and Stomph, T. J. (2007). Uptake and distribution of root-applied or foliar-applied 65Zn after flowering in aerobic rice. *Annals of Applied Biology*, 150(3), 383-391.

Johnson, S.E., Lauren, J.G., Welch, R.M. and Duxbury, J.M., 2005. A comparison of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (Cicer arietinum), lentil (Lens culinaris), rice (Oryza sativa) and wheat (Triticum aestivum) in Nepal.

Joshi, G. and Pandy, S. (2005). Effects of farmers' perception on the adoption of modern rice varieties in NEPAL. *International Conference on Agricultural Research for Development.*

Karak, T. and Das, D., 2006, July. Effect of foliar application of different sources of Zn application on the changes in Zn content, uptake and yield of rice (Oryza sativa L.). In *18th world congress of soil science*.

Khampuang, K., Lordkaew, S., Dell, B. and Prom-u-thai, C. (2020). Foliar zinc application improved grain zinc accumulation and bioavailable zinc in unpolished and polished rice. *Plant Production Science*, 1-9.

Khan, M. U., Qasim, M. and Jamil, M. (2003). Effect of different levels of zinc on the extractable zinc content of soil and chemical composition of rice. *Asian Journal of Plant Sciences*.

Khoshgoftarmanesh, A.H., Sadrarhami, A., Sharifi, H. R., Afiuni, D. and Schulin, R. (2009). Selecting zinc-efficient wheat genotypes with high grain yield using a stress tolerance index. *Agronomy Journal*, *101*(6), 1409-1416.

Kulhare, P.S., Tagore, G. S. and Sharma, G. D. (2017). Effect of foliar spray and sources of zinc on yield, zinc content and uptake by rice grown in a Vertisols of central India. International Journal *of* Chemical *Studies*, *5*(2), 35-38.

Kumar, D., Kumar, R., Singh, P. and Kumar, P. (2017). Effect of different zinc management practices on growth, yield, protein content, nutrient uptake and economics on rice under partially reclaimed saltaffected soil. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 6(5), 638-640

Kumar, R., Kumar, M., Yadav, S. and Kumar, R. (2020). Effect of Sources and Methods of Zinc Application on Productivity, Nutrient Uptake and Zinc Use Efficiency of Basmati rice (Oryza sativa L.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, *9*(1), 2231-2242.

Kumari, P., Singh, A.K., Dewangan, P. K., Pankaj, S. C. and Lakra, A. K. (2017). Effect of foliar

nutrition of rice. *SANA publication press.* Tehran, Iran.p 610.

Mandal, B., Hazra, G.C. and Mandal, L.N., 2000. Soil management influences on zinc desorption for rice and maize nutrition. *Soil Science Society of America Journal*, *64*(5), pp.1699-1705.

Matsuzaki, T., (2001). Control method of the pecky rice bugs in Toyama Prefecture. *Plant Prot*, (55), 451-454.

Naik, S.K. and Das, D.K., 2007. Effect of lime, humic acid and moisture regime on the availability of zinc in alfisol. *TheScientificWorldJOURNAL*, *7*, pp.1198-1206.

Phattarakul, N., Mongon, J. and Rerkasem, B., 2011, October. Variation in rice grain zinc and their response to zinc fertilizer. In *3rd international zinc symposium* (pp. 10-14).

Quijano-Guerta, C., Kirk, G.J.D., Portugal, A.M., Bartolome, V.I. and McLaren, G.C., 2002. Tolerance of rice germplasm to zinc deficiency. *Field Crops Research*, *76*(2-3), pp.123-130.

Rahman, K. M., Chowdhury, M. A. K., Sharmeen, F., Sarkar, A., Hye, M.A., Biswas, G.C. and Sarkar, A. (2011). Effect of zinc and phosphorus on yield of Oryza sativa (cv. br-11). *Bangladesh Res. Pub. J*, *5*(4), 315-358.

Rashid, A., Ashraf, M. and Yasin, M., 2002. Zinc enrichment of the mat-type rice nursery. *International Rice Research Notes*.

Rehman, H. U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A. and Rengel, Z. (2012). Zinc nutrition in rice production systems: a review. *Plant and Soil*, *361*(1-2), 203-226.

Shivay, Y. S., Prasad, R. and Rahal, A. (2010). Genotypic variation for productivity, zinc utilization efficiencies, and kernel quality in aromatic rice under low available zinc conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 1835-1848

Shivay, Y.S., Kumar, D. and Prasad, R., 2008. Effect of zinc-enriched urea on productivity, zinc uptake and efficiency of an aromatic rice–wheat cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *81*(3), pp.229-243.

Shivay, Y.S., Prasad, R. and Rahal, A., 2010. Genotypic variation for productivity, zinc utilization efficiencies, and kernel quality in aromatic rices under low available zinc conditions. *Journal of Plant nutrition*, *33*(12), pp.1835-1848.

Shivay, Y.S., Prasad, R., Singh, R.K. and Pal, M., 2015. Relative efficiency of zinc-coated urea and soil and foliar application of zinc sulphate on yield, nitrogen, phosphorus, potassium, zinc and iron biofortification in grains and uptake by basmati rice (Oryza sativa L.). *Journal of Agricultural Science*, *7*(2), p.161.

Singh, A. K. Singh, N. P., Nongkyarih, P. (2014). Response of rice to Zn in the soils of Meghalaya. *Fertilizer News*, 47(8), 53-54

Slaton, N.A., Norman, R.J. and Wilson Jr, C.E., 2005. Effect of Zinc Source and Application Time on Zinc Uptake and Grain Yield of Flood-Irrigated Rice. *Agronomy Journal*, *97*(1), pp.272-278.

Slaton, N.A., Wilson, C.E., Ntamatungiro, S., Norman, R.J. and Boothe, D.L., 2001. Evaluation of zinc seed treatments for rice. *Agronomy Journal*, *93*(1), pp.152-157.

Stomph, T.J., Hoebe, N., Spaans, E. and Van der Putten, P.E.L., 2011, October. The relative contribution of post-flowering uptake of zinc to rice grain zinc density. In *3rd International Zinc Symposium* (pp. 10-14).

Tonini, A. and Cabrera, E. (2011). Opportunities for global rice research in a changing world (No. 2215-2019-1630).

Uphoff, N. (2005). The development of the System of Rice Intensification. Participatory research and development for sustainable agriculture and rural development, 3, 119-125.

Wijebandara, D. M. D. I., Dasog, G. S., Patil, P. L., and Hebbar, M. (2009). Effect of nutrient levels and biofertilizer on growth and yield of paddy under System of Rice Intensification (SRI) and conventional methods of cultivation. *Tropical Agricultural Research*, 20, 343-353.

Yousefi, M. and Zandi, P. (2012). Effect of foliar application of zinc and manganese on yield of pumpkin (Cucurbita pepo L.) under two irrigation patterns. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Series Agronomy*, *15*(4), 1-9.

Zhu, C., Gao, X., Shi, R., Fan, X. and Zhang, F. (2008). Micronutrient deficiencies in crop production in China. In Micronutrient deficiencies in global crop production (pp. 127-148). Springer, Dordrecht.

Zulfigar, U., Hussain, S., Maqsood, M., Ishfaq, M., & Ali, N.(2020). Zinc nutrition in puddled transplanted and direct seeded production systems to enhance productivity, zinc use efficiency and grain biofortification of fine aromatic rice. *Crop Science*.