

## Effect of Basal and Foliar Application of Zinc Sulphate Fertilizer on Zinc Uptake, Yield and Yield Components of Rice (Hashemi Cultivar)

SHAHRAM MAHMOUD SOLTANI<sup>1\*</sup>, MEHRZAD ALLAHGHOLIPOOR<sup>1</sup>, MARYAM SHAKOURI KATIGARI<sup>1</sup>, ALI POURSAFAR TABALVANDANI<sup>1</sup>

1. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and extension Organization, Rasht, Iran.

(Received: Nov. 18, 2019- Revised: Jan. 4, 2020- Accepted: Jan. 4, 2020)

### ABSTRACT

Zinc (Zn) next to N and P is the most important nutrient that its deficiency is considered to be a serious widespread nutritional disorder of the world's rice paddy fields which causes yield reduction. The current field study was conducted to explain the effect of Zn application (basal and foliar) on morphological characteristics, rice yield and yield components, and more broadly, grains bio-fortification (Zn and protein content). The two factors factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in the farmer field in 2018-2019. The applied treatments were basal application of zinc sulfate at three levels (0, 10 and 20 kg.ha<sup>-1</sup> Zn), and foliar application 0.5% zinc sulfate (ZFA) in four levels (no ZFA, ZFA at maximum tillering, ZFA at flowering and ZFA at grain filling stages). Basal Zn sulfate was applied before ploughing and thoroughly mixed with the surface plough layer. Results showed that almost all of the collected data except amylose content and gelatinization temperature were significantly affected by basal and foliar application of Zn, and their interactions ( $P \leq 0.01$  or  $P \leq 0.05$ ). The highest value of spikelet per panicle, grains per panicle, 1000 grains weight, grain yield and biomass were found at 20 kg.ha<sup>-1</sup> basal Zn application and foliar application at maximum tillering and flowering stage, meanwhile the highest grain Zn content and white rice protein content were observed at 20 kg.ha<sup>-1</sup> and foliar application at grain filling stage. The highest Zn content in all rice tissues were obtained at 20 kg.ha<sup>-1</sup> basal application. The maximum Zn content in leaves and stems, roots, and panicles were found by foliar application at maximum tillering, flowering and ripening stages, respectively. It can be concluded that in order to produce higher grain and straw yield, the higher Zn treatment and earlier foliar application, whereas for quality factors, latter stage application were effective.

**Keywords:** Rice, Hashemi Cultivar, Zinc, Basal Application, Foliar Application.

---

\* Corresponding Author's Email: [shmsoltani@gmail.com](mailto:shmsoltani@gmail.com)

## تأثیر کاربرد پایه و محلول پاشی کود سولفات روی بر جذب روی، عملکرد و اجزاء عملکرد برنج رقم هاشمی

شهرام محمود سلطانی<sup>\*</sup>، مهرزاد اله قلی پور<sup>۱</sup>، مریم شکوری کتیگری<sup>۱</sup>، علی پورصفر طبالوندانی<sup>۱</sup>

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۲۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴)

### چکیده

کمبود روی پس از نیتروژن و فسفر، مهم‌ترین نارسایی تغذیه‌ای و عامل مهمی در کاهش عملکرد برنج است. بنابراین به منظور بررسی تأثیر کاربرد روش‌های مصرف روی (مصرف پایه و محلول پاشی) بر برنج رقم هاشمی، آزمایش مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از کود پاشی پایه (کاربرد خاکی) کود سولفات روی در سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی) و محلول پاشی ۰/۵ درصد سولفات روی در چهار سطح (بدون محلول پاشی، در زمان حداکثر پنجه‌زنی، یک‌هفته قبل از گلدهی و شروع پرشدن دانه). روش‌های مختلف کاربرد سولفات روی بر تمام خصوصیات اندازه‌گیری شده به استثنای میزان آمیلوز و دمای ژلاتینی‌شدن، تأثیر معنی‌داری داشت. بالاترین تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی در مرحله یک هفته قبل از گلدهی و رسیدگی و همچنین بالاترین محتوای روی آرد با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی در مرحله پرشدن دانه حاصل شد؛ در حالی که بالاترین محتوای پروتئین آرد نیز با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی در مرحله یک هفته قبل از گلدهی به دست آمد. کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی باعث بالاترین محتوای روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه، محلول پاشی مرحله پنجه‌زنی باعث بالاترین محتوای روی برگ و ساقه، محلول پاشی مرحله خوشه‌دهی باعث بالاترین محتوای روی ریشه و محلول پاشی مرحله رسیدگی باعث بالاترین محتوای روی خوشه شد. بنابراین، کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی یک هفته قبل از مرحله گلدهی و پرشدن دانه، به عنوان راهکاری جهت بهبود کیفیت دانه و همین مقدار کود پایه به همراه محلول پاشی در مرحله گلدهی برای عملکرد و اجزای عملکرد مناسب است.

واژه‌های کلیدی: برنج، رقم هاشمی، کود روی، کاربرد پایه، محلول پاشی.

### مقدمه

برنج (*Oryza sativa*) یکی از غذاهای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان، به ویژه آسیا و آفریقا است که در این مناطق بیش از ۹۰ درصد برنج تولیدی، همزمان مصرف می‌شود (FAO, 2013; Alloway, 2009). برنج ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز جمعیت‌های انسانی در کشورهای برنج‌خیز جهان را فراهم می‌کند (FAO, 2013). با توجه به روند رو به افزایش جمعیت جهان، طبق آمارهای سازمان خواروبار جهانی (فائو) تا سال ۲۰۲۵ به ۷۶۰ میلیون تن شلتوک نیاز خواهد بود تا بتوان میزان تقاضای جمعیت جهان را به این منبع مهم غذایی تأمین نمود. این در حالی است که بیشتر شالیزارهای موجود مورد بهره برداری قرار گرفته‌اند (FAO, 2013). در طول پنج دهه گذشته، عملکرد برنج دو جهش بزرگ (پیشرفت‌های ژنتیکی و به‌زراعی) را به خود دیده است که طی آن میزان عملکرد دانه برنج به بیش

از سه برابر افزایش یافته است (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2009; Tonini and Cabrera, 2011). علی‌رغم این جهش‌ها، همچنان شکاف بزرگی بین عملکرد در زمین کشاورزان و ایستگاه‌های تحقیقاتی در کشورهای در حال توسعه وجود دارد. علاوه بر آب کافی نیاز به عرضه متعادل عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف برای پرکردن این شکاف عملکردی حیاتی است (Mahmoud Soltani, 2018).

پس از نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K)، کمبود روی (Zn) یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد (بین ۲۰ تا ۸۰ درصد) در برنج است (Fageria *et al.*, 2002). در مقایسه با حبوبات، غلات به‌طور کلی به ابتلا به کمبود روی و کاهش قابل توجه در عملکرد دانه و کیفیت غذایی، حساس‌ترند (Cakmak, 2008). با این حال، نظر به این موضوع که بیش از ۵۰ درصد از اختلال تغذیه‌ای در محصولات مستعد در سراسر جهان به کمبود روی اختصاص دارد،

توسط برنج، تأثیر روش کاربرد کود بر جذب به ترتیب عبارت‌اند از مخلوط با خاک < پخش در سطح خاک > پخش نواری. Khan et al. (2003) در یک آزمایش مزرعه‌ای 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 فرورودن ریشه در محلول حاوی روی یا محلول پاشی عملکرد بهتری داشت. در آزمایش‌های مزرعه‌ای دو ساله در خاک نسبتاً قلیایی رسی شنی با روی کافی، (Rehman et al., 2012) شاهد افزایش مقدار روی خاک و گیاه پس از مصرف سولفات روی در زمان پنجه‌زنی و یا شروع خوشه‌دهی بودند در حالی که کاربرد روی در زمان نشا و یا عدم مصرف کود روی در شرایط غرقابی، تناوب خشکی و رطوبت و شرایط کشت مستقیم هوازی هیچ‌گونه تأثیری نداشت. این افزایش ناشی از فراهمی بالای عنصر روی خاک، منجر به بهبود جذب روی گیاه و متحرک‌سازی دوباره بالا از برگ‌ها به سمت دانه در طول پرشدن دانه در سیستم‌های کاشت برنج شده است.

حتی اگر کاربردهای خاکی روی یک استراتژی امیدوارکننده برای بهبود غلظت روی در بافت‌های گیاهی و همچنین افزایش رشد گیاه و عملکرد بهتر دانه در برنج باشد (Khan et al., 2002)، این روش‌های مصرف در افزایش غلظت روی در دانه تأثیر کمتری داشته و همچنین ممکن است به دلیل هزینه‌های بالا برای استفاده از کودهای گران ولی موثرتر مانند کودهای روی کلاته از لحاظ اقتصادی مطلوب باشند. بنابراین بایستی روش‌های مکمل دیگری برای افزایش تجمع روی در محصولات زراعی در نظر گرفته شود.

روی زمانی که به صورت محلول پاشی برگ‌پاشیده شود، از طریق روزه برگ جذب و سپس از طریق سیستم آوندی گیاه به بخش‌هایی که نیازمند روی هستند انتقال می‌یابد. تعدادی از منابع روی مانند سولفات روی، نترات روی و ای دی تی ای روی به عنوان کود محلول پاشی مناسب برگ‌پاشی در تعدادی از محصولات زراعی معرفی شده است. محلول پاشی با سولفات روی در تصحیح کمبود روی و بهبود غلظت روی دانه مؤثر است (Stomph et al., 2011). به‌طور کلی، افزایش میزان روی دانه زمانی رخ می‌دهد که عنصر روی به‌صورت محلول پاشی در مراحل نهایی رشد گیاه استفاده می‌شود. (Giang et al., 2007) انتقال روی به سمت دانه‌های برنج در محلول فاقد روی با استفاده از ارقام برنج هوازی و با دو روش آغشتن ریشه یا محلول پاشی مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج نشان داد تحت تأمین روی کافی، ورود روی به دانه زمانی که ریشه به روی آغشته می‌شود کمتر از محلول پاشی است. به‌طور مشابه، انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه زمانی رخ می‌دهد

قابل توجه است که فراوانی کمبود روی در برنج از سایر محصولات زراعی بیشتر است (Doberman and fairhurst, 2000). کمبود روی به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های تغذیه‌ای در محدود کردن تولید برنج در آسیا در سال‌های اخیر شناخته شده است. گیاهانی که در خاک‌های با روی در دسترس پایین رشد می‌کنند، به‌طور کلی عملکرد کمتر و کیفیت دانه نامناسب‌تری دارند (Welch and Graham, 2000). به عنوان مثال، کاهش معنی‌دار (۸۰ درصد) در مقدار روی موجود در دانه غلات کشت-شده در خاک‌های با روی قابل دسترس کم مشاهده شده است (Cakmak, 2008). این کاهش در غلظت روی در دانه، سبب کاهش فراهمی زیستی آن در انسان شده و ممکن است به کمبود روی در جمعیت‌های حساس انسانی منجر شود (Hussain et al., 2012). در واقع، کمبود روی در غذای جوامع بشری در حال تبدیل شدن به یکی از مشکلات عمده بهداشت عمومی در بسیاری از کشورها، به ویژه در آن‌هایی که مردم به مواد غذایی مبتنی بر غلات وابسته هستند، می‌باشد (Mahmou Soltani, 2018).

کاربرد کود روی در خاک‌های دارای کمبود این عنصر، یک استراتژی کلی برای مقابله با کمبود آن بوده و علاوه بر افزایش عملکرد دانه به افزایش غلظت روی در دانه نیز می‌انجامد (Houssain et al., 2012; Mahmoud Soltani et al., 2017) اما این رویکرد همیشه از دیدگاه اقتصادی مطلوب نبوده و ممکن است به مطالعات اصلاحی تکمیلی نیاز باشد. 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 خاک است. روی را می‌توان از طریق پخش در همه زمین، قرار دادن 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). همچنین گزینش منابع روی مناسب برای افزودن به خاک نیز می‌تواند یک استراتژی جایگزین برای بهبود در دسترس بودن روی برای گیاه در شرایط اراضی پست باشد. کودهای روی با حلالیت خوب مانند ای دی تی ای روی و سولفات روی در مقایسه با اکسید روی نامحلول و روی دانه‌ای (گرانوله) سبب انتقال روی بیشتر به ریشه گیاه برنج می‌شود. (Gupta and Kalra 2006) نشان دادند که از نظر جذب روی

که روی موجود در یک محلول غذایی در هنگام حاملگی و یا مرحله گرده‌افشانی برای ژنوتیپ‌های با روی دانه بالا و یا پایین استفاده شود (Wu et al., 2010). محلول‌پاشی روی (۵/۰ درصد (حجم / وزن) سولفات روی) در شروع خوشه‌دهی در افزایش دو برابری میزان روی دانه مؤثر بود (Mahmoud Soltani et al., 2019). این افزایش در غلظت روی دانه به بهبود انتقال مجدد روی در برگ در طول پرشدن دانه نسبت داده شده است. محلول‌پاشی می‌تواند از مشکلات ناشی از جذب و تثبیت روی بر روی ذرات خاک جلوگیری کند اما زمان پاشش روی باید در زمان گل‌دهی انجام شود تا سبب افزایش غلظت روی دانه شود. همچنین توجه به این نکته نیز مهم است که روش‌های مختلف کوددهی برای افزایش تجمع روی در دانه برنج، مکمل راهبردهای اصلاحی برای غنی‌سازی زیستی دانه برنج با عنصر روی است. برای مقابله با اثرات منفی گسترده کمبود روی بر عملکرد برنج و سلامتی بخش عمده مردمی که برای تغذیه به این محصول وابسته می‌باشند، اجرای پژوهشی بر مبنای بهبود کمی (افزایش عملکرد) و کیفی برنج (افزایش میزان روی و در نتیجه پروتئین در دانه) در اراضی شالیزاری بسیار ضروری و مؤثر خواهد بود. بنابراین آزمایش حاضر به منظور بررسی واکنش رقم هاشمی نسبت به کاربرد عنصر روی به صورت پایه و محلول‌پاشی انجام شد. اهداف این پژوهش عبارت‌اند از بررسی میزان و نحوه مصرف کود سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی، غنی‌کردن دانه برنج با عنصر روی یعنی افزایش غلظت آن در دانه برنج و تأمین تمام یا بخشی از نیاز روزانه هر فرد، بهبود شاخص‌های کیفی دانه برنج به ویژه پروتئین دانه و تغییرات میزان روی در اندام‌های گوناگون برنج در دو روش مصرف روی.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه کشاورز و در روستای پس‌ویسه شهرستان رشت و بر روی رقم بومی برنج (هاشمی) انجام شد. بعد از عملیات شخم، کرت‌هایی به ابعاد ۲۰ مترمربع با مرزبندی مشخص احداث شده و مرزها برای جلوگیری از تداخل تیمارهای کودی با پلاستیک پوشانیده شدند. از کرت‌های گزینش‌شده، نمونه‌های خاک مرکب از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. نمونه‌های خاک در معرض هوا خشکانده شده و پس از عبور دادن از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل بافت خاک (سیلنتی رسی)، pH، عصاره اشباع (۶/۲۲)، محتوای کربن آلی (۲/۳۶ درصد)، فسفر (۱۹/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و پتاسیم قابل جذب (۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و روی قابل دسترس (کمتر از ۰/۸۸

میلی‌گرم در کیلوگرم) اندازه‌گیری شدند. فسفر به مقدار ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر ( $P_2O_5$ ) از منبع سوپرفسفات‌تریپل (حاوی ۴۶ درصد  $P_2O_5$ ) و پتاسیم نیز به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم ( $K_2O$ ) در هکتار از منبع سولفات پتاسیم (حاوی ۵۰ درصد  $K_2O$ ) قبل از نشاکاری به کلیه کرت‌ها اضافه شد. کود نیتروژن به مقدار ۶۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره (حاوی ۴۶ درصد N) برای رقم هاشمی و در سه مرحله پیش از نشاکاری، در مرحله وجین‌کاری و در مرحله تشکیل جوانه اولیه خوشه به کرت‌ها افزوده شد. گیاهچه (نشا) های یک‌دست رقم هاشمی به فواصل ۲۰ در ۲۰ سانتی‌متر و سه گیاهچه در هر کپه کاشته و کلیه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش‌های توصیه‌شده توسط مؤسسه تحقیقات برنج کشور در کلیه کرت‌ها به صورت یکسان اعمال شد. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از کودپاشی پایه (کاربرد خاکی) کود سولفات روی در سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم سولفات روی ۲۲ درصد در هکتار) و محلول‌پاشی ۵/۰ درصد سولفات روی ۲۲ درصد در چهار سطح (بدون محلول‌پاشی، در زمان حداکثر پنجه‌زنی، یک‌هفته قبل از گل‌دهی و شروع پرشدن دانه). در طول اجرای آزمایش صفات مورفولوژیک مانند تعداد کل پنجه بارور و غیربارور، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، طول و عرض برگ پرچم (سانتی‌متر)، طول پدانکل و پنتالتیمیت، طول خوشه (سانتی‌متر) و صفات عملکردی مانند تعداد کل خوشه بارور و غیربارور در بوته، تعداد دانه کل، پر و پوک در خوشه، طول و عرض دانه، وزن صد دانه با رطوبت ۱۳ درصد، عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه (بار طوبت ۱۴ درصد) اندازه‌گیری شدند. همچنین شاخص برداشت خوشه و شاخص برداشت کل نیز محاسبه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دانه شامل میزان آمیلوز به روش رنگ‌سنجی (Juliano, 1971)، دمای ژلاتینی‌شدن (Little, 1958)، میزان پروتئین بر مبنای محاسبه مقدار نیتروژن موجود در دانه و ضرب عدد نیتروژن به‌دست آمده در عدد ثابت ۵/۹۵ (Emami, 2006) و محتوای روی و فسفر در دانه و کاه و نیز در برنج سفید اندازه‌گیری شد. همچنین در مراحل مختلف رشد گیاه برنج مانند حداکثر پنجه‌زنی، گلدهی، پرشدن دانه و پس از برداشت، میزان روی (Amacher, 1996) و فسفر در اندام‌های مختلف مانند برگ، ساقه، خوشه و بخش‌های مختلف دانه (دانه کامل و برنج سفید) (Emami, 2006) اندازه‌گیری شدند. پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌ها ابتدا داده‌ها نرمال و پس از اطمینان از یکنواخت بودن اشتباه آزمایشی به کمک آزمون بارتلت، تجزیه واریانس تیمارها انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. کلیه محاسبات آماری با

آن افزایش رشد طولی ساقه و شاخساره‌ها دور از انتظار نخواهد بود (Teale et al., 2006).

### طول خوشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر طول خوشه معنی‌دار ( $p \leq 0.01$ ) بود. در حالی که محلول پاشی سولفات روی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول پاشی بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). بالاترین طول خوشه مربوط به کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت؛ پایین‌ترین این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد کاربرد خاکی سولفات روی نسبت به محلول پاشی این ماده تأثیر مثبت بیشتری بر طول خوشه داشته و باعث افزایش این صفت شده است (جدول ۲)؛ به طوری که کاربرد خاکی ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به ترتیب باعث افزایش طول خوشه به میزان ۱۴/۲۷ و ۱۲/۵ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی شد (جدول ۲). در مطالعات پیشین گزارش شده است که طول خوشه برنج با مصرف ۳۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار افزایش یافت (Rahman et al., 2011). همچنین در پژوهشی دیگر نیز گزارش شده است که بالاترین طول خوشه (۲۳/۷۳ سانتی‌متر) با مصرف ۱۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار به دست آمد (Khan et al., 2007).

استفاده از نرم افزارهای MSTAT-C و SAS صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر ارتفاع بوته معنی‌دار ( $p \leq 0.01$ ) بود؛ در حالی که محلول پاشی سولفات روی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول پاشی بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). بالاترین ارتفاع بوته مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پایین‌ترین این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد کاربرد خاکی سولفات روی نسبت به محلول پاشی این ماده تأثیر بیشتری بر ارتفاع بوته داشته و باعث افزایش این صفت شده است. به طوری که کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی باعث افزایش ارتفاع بوته به میزان ۷/۷۶ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی شد (جدول ۲). محققان اظهار داشتند که افزایش ارتفاع گیاه، در نتیجه افزایش تقسیم و طول‌شدگی سلولی در اثر کاربرد روی می‌باشد. علاوه بر آن، روی یکی از فاکتورهای مهم تأثیرگذار در فعالیت آنزیم تریپتوفان سینتتاز می‌باشد و با توجه به اینکه اسید آمینه تریپتوفان به عنوان پیش‌ماده تولید اکسین عمل می‌کند، لذا با افزایش تولید اکسین، تشدید چیرگی رأسی و متعاقب

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول خوشه	طول برگ پرچم	عرض برگ پرچم	میانگین مربعات			
						طول پدانکل	طول پنالتیمت	تعداد پنجه کل	
تکرار	۲	۱۷۶/۹**	۲/۷ <sup>ns</sup>	۱۰/۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۴**	۱۱/۸*	۵/۳ <sup>ns</sup>	۲/۶ <sup>ns</sup>	۵/۵ <sup>ns</sup>
کاربرد خاکی	۲	۲۴۵/۳**	۳۶/۹**	۸۳/۴**	۱/۱**	۷۹/۱**	۲۵/۲**	۷۴/۸**	۶۹/۷**
محلول پاشی	۳	۳۷/۹ <sup>ns</sup>	۶/۳ <sup>ns</sup>	۲۲/۳ <sup>ns</sup>	۰/۱**	۷/۵ <sup>ns</sup>	۴/۹ <sup>ns</sup>	۱۸/۱ <sup>ns</sup>	۲۳/۱*
کاربرد خاکی*محلول پاشی	۶	۸/۷ <sup>ns</sup>	۲/۸ <sup>ns</sup>	۱۶/۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۲*	۲/۷ <sup>ns</sup>	۳/۰ <sup>ns</sup>	۸/۳ <sup>ns</sup>	۴/۴ <sup>ns</sup>
خطا	۲۲	۲۱/۴	۴/۱	۱۲/۲	۰/۰۱	۵/۴	۲/۹	۹/۹	۳/۴
ضریب تغییرات (%)		۳/۹	۸/۳	۱۳/۰	۶/۸	۶/۷	۷/۰	۱۶/۰	۱۲/۱

ns, \* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیست‌توده	شاخص برداشت	میزان آمیلوز	درجه حرارت ژلاتینی شدن
تکرار	۲	۱۲۵/۳**	۵/۹*	۱۷۵۲۱۱/۱ <sup>ns</sup>	۹۴۱۱/۱ <sup>ns</sup>	۲۷/۵ <sup>ns</sup>	۱۶/۲۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۴ <sup>ns</sup>
کاربرد خاکی	۲	۵۵۵/۶**	۳۲/۵**	۹۰۹۸۵۲/۸*	۷۰۲۸۶/۱**	۱۳۹/۰*	۹/۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>
محلول پاشی	۳	۴۱۸/۳**	۴/۸*	۷۹۳۶۷۰/۴*	۱۱۲۰۹۱/۷**	۱۰۸/۶ <sup>ns</sup>	۹/۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>
کاربرد خاکی*محلول پاشی	۶	۲۵/۷ <sup>ns</sup>	۲/۸ <sup>ns</sup>	۱۸۳۹۴۵/۴ <sup>ns</sup>	۷۰۰۸/۳ <sup>ns</sup>	۳۱/۷ <sup>ns</sup>	۹/۶۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۲ <sup>ns</sup>
خطا	۲۲	۲۰/۱	۱/۱	۲۰۷۴۳۵/۴	۱۱۷۲۶/۳	۳۷/۹		
ضریب تغییرات (%)		۷/۷	۴/۷	۱۲/۵	۱/۵	۱۱/۹	۱/۱	۱/۰۱

ns, \* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۲- مقایسات میانگین اثر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی بر صفات برنج

تیمارهای آزمایشی	ارتفاع بوته (سانتی متر)	طول خوشه (سانتی متر)	طول برچم (سانتی متر)	عرض برگ برچم (سانتی متر)	طول پدانکل (سانتی متر)	طول پنالتیمت (سانتی متر)	تعداد پنجه کل	تعداد پنجه بارور	تعداد خوشه در بوته
کاربرد خاکی سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)									
بدون کود خاکی	۱۱۶/۲b	۲۲/۶b	۲۳/۹b	۰/۸c	۳۲/۲c	۲۲/۴b	۱۷/۲b	۱۳/۸b	۱۳/۰c
۱۰ کیلوگرم در هکتار	۱۲۰/۱b	۲۵/۸a	۲۸/۷a	۱/۲b	۳۷/۳a	۲۴/۹a	۱۹/۹a	۱۷/۳a	۱۴/۷b
۲۰ کیلوگرم در هکتار	۱۲۵/۲a	۲۵/۴a	۲۸/۳a	۱/۴a	۳۴/۹b	۲۴/۹a	۲۲/۱a	۱۸/۵a	۱۷/۸a
مراحل محلول پاشی									
بدون محلول پاشی	۱۱۷/۸a	۲۳/۵a	۲۵/۵b	۰/۹c	۳۴/۷a	۲۳/۳a	۱۸/۲a	۱۴/۵b	۱۲/۱c
پنجه زنی	۱۱۹/۹a	۲۴/۸a	۲۶/۵ab	۱/۱b	۳۵/۹a	۲۳/۷a	۱۸/۹a	۱۶/۱ab	۱۴/۲b
خوشه دهی	۱۲۲/۲a	۲۵/۵a	۲۶/۹ab	۱/۱ab	۳۳/۷a	۲۴/۳a	۲۰/۹a	۱۷/۸a	۱۶/۶a
رسیدگی	۱۲۲/۱a	۲۴/۶a	۲۹/۲a	۱/۲a	۳۴/۹a	۲۴/۹a	۲۱/۱a	۱۷/۹a	۱۷/۸a

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

ادامه جدول ۲- مقایسات میانگین اثر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی بر صفات برنج

تیمارهای آزمایشی	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	میزان آمیلوز	درجه حرارت ژلاتینی شدن
کاربرد خاکی سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)							
بدون کود خاکی	۵۱/۹c	۲۰/۷c	۳۳۴۱/۷b	۶۹۵۴/۲b	۴۷/۹b	۱۹/۴۷a	۴/۳۲a
۱۰ کیلوگرم در هکتار	۵۸/۳b	۲۲/۸b	۳۸۰۹/۲a	۷۰۶۳/۳a	۵۳/۹a	۲۰/۹a	۴/۳۹ a
۲۰ کیلوگرم در هکتار	۶۵/۵a	۲۳/۹a	۳۸۲۷/۵a	۷۱۰۱/۷a	۵۳/۸a	۲۱/۱a	۴/۳۱ a
مراحل محلول پاشی							
بدون محلول پاشی	۴۸/۹c	۲۱/۷c	۳۲۳۵/۶b	۶۸۸۳/۳b	۴۶/۹b	۲۰/۹a	۴/۴a
پنجه زنی	۵۸/۵b	۲۲/۰bc	۳۶۷۳/۳ab	۷۰۳۵/۶a	۵۲/۲ab	۲۱/۰a	۴/۳a
خوشه دهی	۶۳/۰a	۲۳/۲a	۳۸۴۶/۷a	۷۱۲۰/۰a	۵۳/۹a	۲۱/۰a	۴/۳a
رسیدگی	۶۳/۸a	۲۲/۹ab	۳۸۸۲/۲a	۷۱۲۰/۰a	۵۴/۵a	۲۱/۲a	۴/۳a

حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

### طول و عرض برگ برچم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر طول برگ برچم معنی دار ( $p \leq 0.01$ ) بود. در حالی که محلول پاشی سولفات روی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول پاشی بر این صفت اثر معنی داری نداشتند (جدول ۱). اختلاف معنی داری از نظر طول برگ برچم بین دو سطح کاربرد خاکی سولفات روی مشاهده نشد و پایین ترین مقدار این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس صفت عرض برگ برچم نیز نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی ( $p \leq 0.01$ )، محلول پاشی سولفات روی ( $p \leq 0.01$ ) و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول پاشی ( $p \leq 0.05$ ) بر این صفت معنی دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول پاشی نشان داد که بالاترین عرض برگ برچم مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی در هر سه مرحله پنجه دهی، رسیدگی و خوشه دهی و پایین ترین عرض برگ برچم مربوط به تیمارهای

بدون کود خاکی سولفات روی بود و محلول پاشی سولفات روی نتوانست باعث گسترش عرض برگ برچم شود. بر اساس نتایج، کاربرد خاکی کود سولفات روی عامل مهمی در توسعه و گسترش عرض برگ برچم بوده و محلول پاشی همراه با وجود مقادیر مناسب روی در خاک، می تواند اثر افزایشی را نشان دهد.

### طول پدانکل و پنالتیمت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر طول پدانکل ( $p \leq 0.01$ ) و طول پنالتیمت ( $p \leq 0.01$ ) معنی دار بود. در حالی که محلول پاشی سولفات روی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول پاشی بر این صفات تأثیر معنی داری نداشتند (جدول ۱). بالاترین طول پدانکل مربوط به کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پایین ترین طول پدانکل مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲). همچنین، بالاترین طول پنالتیمت مربوط به کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی داری نداشت و پایین ترین طول

داد که تعداد پنجه در برنج با افزایش عنصر روی در خاک بیشتر شد. همچنین کاربرد روی به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار به شکل سولفات روی موجب افزایش معنی دار تعداد پنجه در کپه برنج شد (Mahmoud Soltani *et al.*, 2016, 2017). عنصر روی با تأثیر بر فرآیندهای شیمیایی مانند سنتز نوکلئوتید، متابولیسم اکسین و فعالیت آنزیم‌ها نقش مؤثری بر تولید پنجه در گیاهان دارد. گزارش شده است که با افزایش میزان روی در خاک، تعداد پنجه بارور در برنج افزایش یافت (Doberman and Fairhurst, 2000).

#### تعداد خوشه در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد خوشه در بوته نشان داد که کاربرد خاکی ( $p \leq 0.01$ ) و محلول پاشی سولفات روی ( $p \leq 0.01$ ) بر این صفت معنی دار بود (جدول ۱). بالاترین تعداد خوشه در بوته مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پایین‌ترین تعداد خوشه در بوته مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تعداد خوشه در بوته را به میزان ۳۶/۷ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). همچنین، بالاترین تعداد خوشه در بوته با محلول پاشی در مرحله خوشه‌دهی و رسیدگی حاصل شد. به طوری که محلول پاشی در مراحل رسیدگی و خوشه‌دهی تعداد خوشه در بوته را به ترتیب به میزان ۴۷ و ۳۷/۶ درصد نسبت به تیمار بدون محلول پاشی افزایش داد (جدول ۲).

تعداد خوشه در واحد سطح یا اندازه مخزن، اولین عامل محدودکننده عملکرد در غلات است. اگر اندازه مخزن افزایش یابد، باید پر شدن دانه نیز بهبود یابد. افزایش طول دوره پر شدن دانه و بهینه‌سازی صفات مورفولوژیکی خوشه باعث افزایش درصد دانه‌های پر می‌شود. برای این منظور باید کارایی انتقال مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده، بهبود یابد (Peng, 2000). نتایج دیگر تحقیقات نشان داد که مصرف روی، تعداد روز تا رسیدگی و عقیمی خوشچه‌ها و تعداد خوشچه پوک در هر خوشه را در برنج کاهش داد (Yakan *et al.*, 2000). همچنین، مصرف ۱۵-۱۰ کیلوگرم کود سولفات روی به طور معنی داری درصد پر بودن خوشچه‌ها را افزایش داد (Khan, 2007). مصرف روی به دلیل افزایش قابلیت دسترسی یا جذب سایر عناصر غذایی باعث بهبود فعالیت‌های متابولیکی می‌شود که در نهایت درصد پر بودن خوشچه‌ها را افزایش می‌دهد (Mehdi *et al.*, 2007).

#### تعداد دانه در خوشه

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد دانه در خوشه نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی ( $p \leq 0.01$ ) و محلول پاشی سولفات روی ( $p \leq 0.01$ ) بر این صفت معنی دار بود (جدول ۱). بالاترین تعداد

پنالتیتم مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲).

#### تعداد پنجه کل و تعداد پنجه بارور

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد خاکی سولفات روی بر تعداد پنجه کل ( $p \leq 0.01$ ) معنی دار بود در حالی که محلول پاشی سولفات روی و اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول پاشی بر این صفت تأثیر معنی داری نداشت (جدول ۱). بالاترین تعداد پنجه کل مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی داری نداشت و پایین‌ترین تعداد پنجه کل مربوط به تیمار بدون کود خاکی سولفات روی بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد پنجه بارور نیز نشان داد که کاربرد خاکی ( $p \leq 0.01$ ) و محلول پاشی سولفات روی ( $p \leq 0.05$ ) بر این صفت معنی دار بودند (جدول ۱). بالاترین تعداد پنجه بارور مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی داری نداشت. پایین‌ترین تعداد پنجه بارور مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). نکته قابل توجه در این بود که با افزایش مقدار سولفات روی به کار رفته در خاک، از تعداد پنجه‌های پوک یا غیربارور کاسته شد؛ به نحوی که به ترتیب تعداد پنجه پوک با کاربرد صفر، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم سولفات روی از ۱۹/۳ درصد به ۱۳/۲ و ۴ درصد تنزل پیدا کرد. به عبارت دیگر کاربرد خاکی سولفات روی ضمن افزایش تعداد پنجه در گیاه، موجب افزایش تعداد پنجه‌های بارور نیز شد. بالاترین تعداد پنجه بارور نیز با محلول پاشی در مرحله خوشه‌دهی و رسیدگی حاصل شد که با محلول پاشی مرحله پنجه‌زنی تفاوت معنی داری داشت. کمترین مقدار پنجه بارور نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۲).

اولین جزء عملکرد که به وسیله عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود، تعداد خوشه یا پنجه‌های بارور هر گیاه است. عملکرد دانه غلات تا حد زیادی به پنجه‌های بارور در هر گیاه بستگی دارد ظرفیت پنجه‌زنی یکی از مهم‌ترین اجزاء عملکرد برای افزایش عملکرد در دانه به شمار می‌آید (Khan, 2007). لازمه دستیابی به عملکرد بالا در برنج نیز وجود تعداد کافی پنجه بارور در واحد سطح است چون تعداد خوشه‌ها مهم‌ترین عاملی است که عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش تعداد پنجه بارور در واحد سطح، عامل افزایش عملکرد برنج می‌باشد، چرا که با افزایش تعداد پنجه در واحد سطح (تعداد بالقوه خوشه)، میزان مواد غذایی که به هر خوشه اختصاص می‌یابد، کم‌تر خواهد شد که این عامل موجب کاهش عملکرد دانه خواهد شد. نتایج دیگر مطالعات نشان

دانه در خوشه مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پایین‌ترین تعداد دانه در خوشه مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تعداد دانه در خوشه را به میزان ۲۶/۱۹ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). همچنین، بالاترین تعداد دانه در خوشه با محلول‌پاشی در مرحله رسیدگی حاصل شد که با محلول‌پاشی مرحله خوشه‌دهی تفاوت معنی‌داری نداشت. به طوری که محلول‌پاشی در مراحل رسیدگی و خوشه‌دهی تعداد دانه در خوشه را به ترتیب به میزان ۳۰/۲۷ و ۲۸/۶۸ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داد (جدول ۲).

درصد دانه‌های پر شده به عوامل محیطی، شرایط تغذیه‌ای و فتوسنتز گیاه پس از گلدهی بستگی دارد زیرا قسمت عمده کربوهیدرات‌ها در دانه از مواد فتوسنتزی تولیدشده پس از گرده‌افشانی، تأمین می‌شود. درصد خوشچه‌های پر شده نقش مهمی در افزایش عملکرد برنج خواهد داشت. همچنین ظرفیت مخزن نقش مهمی در تخصیص ماده خشک اندام‌های هوایی به خوشه‌ها دارد. نتایج مطالعات نشان داده که وزن خشک خوشه در انتهای مرحله خوشه‌دهی رابطه نزدیکی با عملکرد دارد؛ به نحوی که وزن خشک خوشه بالاتر در زمان خوشه‌دهی (ظرفیت مخزن بالاتر) باعث افزایش وزن خشک خوشه در زمان برداشت می‌شود و درصد پر شدن دانه‌ها افزایش می‌یابد (Yoshida and Benta, 1983). در پژوهشی مشخص شد که مصرف ۵ کیلوگرم روی در هکتار، باعث افزایش تعداد دانه در خوشه و افزایش وزن هزار دانه در برنج شد (Rahman et al., 2011).

#### وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن هزار دانه نشان داد که کاربرد خاکی ( $p \leq 0.01$ ) و محلول‌پاشی سولفات روی ( $p \leq 0.05$ ) بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین وزن هزار دانه مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پایین‌ترین این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی وزن هزار دانه را به میزان ۱۵/۷ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). همچنین، بالاترین وزن هزار دانه با محلول‌پاشی در مرحله خوشه‌دهی حاصل شد که با محلول‌پاشی مرحله رسیدگی تفاوت معنی‌داری نداشت؛ به طوری که محلول‌پاشی در مراحل خوشه‌دهی و رسیدگی وزن هزار دانه را به ترتیب به میزان ۷/۲ و ۵/۶ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داد (جدول ۲).

در برنج، اغلب وزن هزار دانه ثابت است و از پایدارترین ویژگی‌های رقم به شمار می‌رود زیرا رشد دانه در این گیاه با

پوست آن محدود می‌شود. وزن هزار دانه به همراه چند جزء دیگر نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه ارقام جدید که دارای قابلیت تولید بالایی هستند، دارند. با این وجود به نظر می‌رسد کاربرد سولفات روی تأثیر مثبتی بر وزن هزار دانه داشته و باعث افزایش در این صفت شده است (جدول ۲). دیگران نیز گزارش کردند با افزایش مقدار کود سولفات روی مصرف‌شده، وزن هزار دانه برنج نیز بیشتر شد (Rahman et al., 2011). به نظر می‌رسد که افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف روی به دلیل افزایش مواد ذخیره‌شده و کاهش محدودیت منبع می‌باشد که موجب سرازیر شدن مواد پرورده به سمت دانه می‌شود. سایر محققین نیز اثر مثبت کاربرد عنصر روی را بر افزایش وزن هزار دانه گزارش کردند که این افزایش به احتمال زیاد مربوط به تأثیر عنصر روی بر هورمون ایندول استیک اسید می‌باشد. 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 سولفات روی بر افزایش کارایی آوند آبکش در انتقال مواد غذایی به دانه و پر شدن آن از مهم‌ترین عوامل تأثیر سولفات روی بر افزایش وزن هزار دانه است (Jiang et al., 2007).

#### عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت عملکرد دانه نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی و محلول‌پاشی سولفات روی بر این صفت معنی‌دار بود ( $p \leq 0.05$ ) (جدول ۱). بالاترین عملکرد دانه در تیمارهای کاربرد سولفات روی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. پایین‌ترین این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). کاربرد خاکی ۲۰ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی عملکرد دانه را به ترتیب به میزان ۱۴/۵ و ۱۳/۹ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). همچنین، محلول‌پاشی در هر سه مرحله فنولوژیک باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲). گزارشات متعددی مبنی بر افزایش عملکرد برنج در اثر مصرف کود روی به صورت مصرف خاکی سولفات روی (Mahmoud Soltani et al., 2016 and 2017) و محلول‌پاشی سولفات روی وجود دارد (Mahmoud Soltani et al., 2019). پژوهشگران دیگری نیز گزارش کردند که مصرف سولفات روی، ارتفاع گیاه، طول خوشه، پر شدن خوشچه، وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد دانه را افزایش داد (Zou et al., 2008). از دلایل افزایش عملکرد برنج به دنبال کاربرد سولفات روی، افزایش غلظت نیتروژن (Malakooti and Tehrani, 1999)، افزایش میزان کلروفیل



ولی شرط کافی رسیدن به عملکرد مطلوب نیست. عوامل کلیدی تعیین کننده شاخص برداشت، وزن خشک در زمان خوشه دهی و سرعت رشد محصول در مرحله خوشه دهی می باشد. معمولاً وزن خشک در مرحله خوشه دهی و سرعت رشد محصول در مرحله خوشه دهی با هم رابطه عکس دارند. در مطالعات دیگری به اثرات مثبت مصرف کود سولفات روی بر شاخص برداشت برنج اشاره شده است (Dobermann and Fairhurst, 2000; Slaton *et al.*, 2001; Cakmak, 2008).

#### محتوای روی در اندام های گیاهی و دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر محتوای روی برگ در مرحله پنجه زنی، محتوای روی ساقه و ریشه در مرحله خوشه دهی، محتوای روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه در مرحله رسیدگی و نیز محتوای روی آرد معنی دار بود (جدول ۳). همچنین محلول پاشی سولفات روی بر محتوای روی برگ و ساقه مرحله در خوشه دهی، محتوای روی برگ، ریشه و خوشه در مرحله رسیدگی و محتوای روی آرد معنی دار بود (جدول ۳). همچنین، اثر متقابل کاربرد خاکی و محلول پاشی بر محتوای روی برگ در مرحله خوشه دهی، محتوای روی برگ، ساقه و خوشه در مرحله رسیدگی و محتوای روی آرد معنی دار بود (جدول ۳). در مرحله پنجه زنی، کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، بالاترین محتوای روی برگ، ساقه و ریشه را نشان داد (جدول ۴). در مرحله خوشه دهی، کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، بالاترین محتوای روی برگ، ساقه و خوشه در هکتار سولفات روی، بالاترین محتوای روی برگ، کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، بالاترین محتوای روی ساقه و کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، بالاترین محتوای روی ریشه را داشتند (جدول ۴). همچنین، با محلول پاشی در مرحله پنجه زنی، بالاترین محتوای روی برگ، ساقه و ریشه حاصل شد (جدول ۴). در مرحله رسیدگی، کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بالاترین محتوای روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه را نشان دادند (جدول ۴). همچنین، محلول پاشی مرحله پنجه زنی باعث بالاترین محتوای روی برگ و ساقه، محلول پاشی مرحله خوشه دهی باعث بالاترین محتوای روی ریشه و محلول پاشی مرحله رسیدگی باعث بالاترین محتوای روی خوشه شد (جدول ۴). بالاترین محتوای روی آرد دانه با کاربرد خاکی سولفات روی حاصل شد که اختلاف معنی داری بین دو مقدار به کار رفته وجود نداشت (جدول ۴). همچنین، در بین تیمارهای محلول پاشی، تنها تیمار محلول پاشی در مرحله رسیدگی باعث افزایش میزان روی دانه شد و بقیه تیمارهای محلول پاشی با تیمار شاهد اختلاف معنی داری را نشان ندادند (جدول ۴). مقایسات میانگین اثر متقابل کاربرد خاکی و

و فعالیت فتوسنتزی گیاه بوده که سبب توسعه پوشش گیاهی و افزایش شاخه، برگ و عملکرد گیاه می شود (Teale *et al.*, 2006).

#### عملکرد زیست توده

نتایج تجزیه واریانس صفت عملکرد زیست توده نشان داد که کاربرد خاکی ( $p \leq 0.01$ ) و محلول پاشی سولفات روی ( $p \leq 0.01$ ) بر این صفت معنی دار بود (جدول ۱). بالاترین عملکرد زیست توده مربوط به کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی داری نداشت و پایین ترین این صفت مربوط به تیمار بدون کود خاکی بود (جدول ۲). کاربرد خاکی ۲۰ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی عملکرد زیست توده را به ترتیب به میزان ۲/۱۲ و ۱/۵۷ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). همچنین، بالاترین عملکرد زیست توده با محلول پاشی در مراحل رسیدگی و خوشه دهی حاصل شد که با محلول پاشی مرحله پنجه زنی تفاوت معنی داری نداشت و پایین ترین این صفت مربوط به تیمار بدون محلول پاشی بود (جدول ۲).

افزایش عملکرد ماده خشک با مصرف عنصر ریز مغذی روی به عوامل مختلفی از جمله افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش آنزیم کربونیک انهدراز که در همه بافت های فتوسنتزی حضور دارد و برای بیوسنتز کلروفیل مورد نیاز است، بهبود عملکرد فتوسیستم های نوری، افزایش فعالیت فسفوانیول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت های گیاهی و افزایش جذب نیتروژن و فسفر در حضور عنصر روی، مرتبط است. تمامی عوامل مذکور در افزایش شاخص های رشد از قبیل تعداد و اندازه برگ، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه های جانبی مؤثر می باشد و از این طریق، عملکرد ماده خشک افزایش می یابد (Koochaki, 2012). Mahmoud *et al.* (2016, 2017 and 2019) نشان دادند که مصرف روی در هر میزان در مقایسه با شاهد سبب افزایش عملکرد زیست توده در برنج بین ۱۰ تا ۱۸ درصد می شود.

#### شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی بر شاخص برداشت تأثیر معنی داری ( $p \leq 0.05$ ) داشت (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بالاترین شاخص برداشت در دو تیمار کاربرد خاکی سولفات روی مشاهده شد که اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). کاربرد خاکی ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی شاخص برداشت را به ترتیب به میزان ۱۲/۴۱ و ۱۲/۱۸ درصد نسبت به تیمار بدون کود خاکی افزایش داد (جدول ۲). شاخص برداشت بالا لازمه عملکرد بالا است

همچنین گزارش شده است که میزان غلظت روی در تیمار شاهد برابر ۶۱/۸ میلی گرم در کیلوگرم و با کاربرد سولفات روی به میزان ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار، به ترتیب برابر ۶۴/۳ و ۶۴/۶ میلی گرم در کیلوگرم افزایش یافت (Nathan et al., 2005). Stomph et al. (2011) نشان دادند که محلول پاشی سولفات روی در جبران کمبود عنصر روی و افزایش غلظت روی دانه برنج مؤثر بوده است. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که مصرف خاکی سولفات روی در زمان پنجه‌زنی یا آغاز خوشه‌دهی باعث افزایش مقدار روی در خاک، موجب افزایش این عنصر در گیاه و دانه شد. به طوری که افزایش غلظت روی در بافت‌های سبز گیاه باعث افزایش ۲/۵ برابری محتوای روی دانه نسبت به تیمار شاهد شده بود و این افزایش با بالا رفتن میزان روی قابل جذب خاک، بهبود جذب روی توسط گیاه و افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در دوره پرشدن دانه همراه بود (Rehman, 2014; Mahmoud et al., 2017, 2018).

افزایش محتوای روی دانه در اثر محلول پاشی ترکیبات روی ناشی از افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها در طول دوره پر شدن دانه بوده است. به علاوه بیشتر بودن محتوای روی دانه در تیمارهای سولفات روی می‌تواند به بالاتر بودن غلظت محلول سولفات روی مرتبط باشد. به اعتقاد پژوهشگران، محلول پاشی با ترکیبات روی باعث افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در طول دوره پر شدن دانه می‌شود (Rehman et al., 2012). همچنین مطالعات نشان داده است که محلول پاشی کود روی در مرحله آبستنی و مرحله گرده افشانی برنج سبب انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه، هم در ژنوتیپ‌های با میزان روی دانه بالا و هم در ژنوتیپ‌های با مقدار روی دانه پایین شد (Wu et al., 2010). افزایش محتوای روی دانه برنج در اثر محلول پاشی کود روی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Jiang et al., 2007; Stomph et al., 2011).

محلول پاشی سولفات روی نیز نشان داد که کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی مرحله پنجه‌زنی بالاترین محتوای روی برگ (خوشه‌دهی)، کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی مرحله پنجه‌زنی بالاترین محتوای روی برگ (رسیدگی)، کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی مرحله پنجه‌زنی بالاترین محتوای روی ساقه (رسیدگی)، کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی مرحله خوشه‌دهی بالاترین محتوای روی خوشه (رسیدگی) و کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی مرحله پنجه‌زنی بالاترین محتوای روی آرد را داشتند (جدول ۵).

با مصرف سولفات روی، غلظت روی دانه و میزان روی جذب شده دانه افزایش یافت. محققان اعلام نمودند با افزایش کاربرد روی، غلظت روی در ریشه، ساقه و برگ ذرت افزایش یافت. به طوری که مقدار آن در اندام‌های هوایی بیشتر از ریشه بود (Mahmoud Soltani et al., 2017). در مطالعه حاضر، با افزایش غلظت سولفات روی، مقدار عنصر روی در گیاه نیز افزایش یافت. به عبارت دیگر، بین میزان فراهمی روی در خاک و غلظت روی جذب شده، رابطه مستقیمی مشاهده شد. افزایش غلظت روی در دانه برنج در اثر مصرف کود روی، نشان‌دهنده توانایی روی در قابلیت دسترسی به این عنصر در خاک است که ممکن است به واسطه بهبود فعالیت آنزیمی و فرآیندهای متابولیکی گیاه باشد که در نهایت منجر به افزایش جذب روی می‌شود (Khan, 2002). در مطالعه‌ای مشخص شد که مصرف ۱۳/۵ کیلوگرم روی در هکتار موجب افزایش غلظت روی در دانه برنج شد. با افزایش جذب روی توسط گیاهان، روی در همه اندام‌های گیاه تجمع پیدا کرد که در اندام‌های رویشی به خصوص در ساقه و غلاف برگ (۴۰۰-۲۰ میلی گرم در کیلوگرم) بیشتر از اندام‌های زایشی (در دانه ۵۰-۲۰ میلی گرم در کیلوگرم) بود (Jiang et al., 2007).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
محتوای روی	محتوای روی	محتوای روی	محتوای روی	محتوای روی	محتوای روی		
برگ (مرحله پنجه‌زنی)	ساقه (مرحله پنجه‌زنی)	برگ (مرحله خوشه‌دهی)	ساقه (مرحله خوشه‌دهی)	برگ (مرحله ریشه)	ساقه (مرحله ریشه)		
۷۶/۸۱**	۱۷/۳۵ <sup>ns</sup>	۵۵/۷۵ <sup>ns</sup>	۲۲/۶۴**	۱۱۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۴۳/۶۰*	۲	تکرار
۴۳/۶۰*	۹/۳۴ <sup>ns</sup>	۱۶۶/۶۷ <sup>ns</sup>	۱۴/۷۰*	۴۲۳۹/۰۹**	۲۵/۷۹ <sup>ns</sup>	۲	کاربرد خاکی
۰/۹۹ <sup>ns</sup>	۲۵/۷۹ <sup>ns</sup>	۱۱۷۴/۶۳**	۳۲/۳۸**	۸۴۲/۷۸ <sup>ns</sup>	۱۶/۵۳ <sup>ns</sup>	۳	محلول پاشی
۱۹/۰۵ <sup>ns</sup>	۱۶/۵۳ <sup>ns</sup>	۳۹۲/۱۹**	۸/۵۶ <sup>ns</sup>	۸۵۵/۹۶ <sup>ns</sup>	۲۶/۱۳	۶	کاربرد خاکی*محلول پاشی
۱۰/۱۶	۲۶/۱۳	۴۸/۶۶	۳/۸۵	۴۹۶/۰۶	۲۱/۷۹	۲۲	خطا
۱۲/۷۴	۲۱/۷۹	۱۹/۰۰	۷/۴۰	۲۹/۸۳	۳۷/۱۵		ضریب تغییرات (/)

ns، \* و \*\* نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
محتوای پروتئین آرد	محتوای روی آرد	محتوای روی خوشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ریشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ساقه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی برگ (مرحله رسیدگی)	محتوای روی		
۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۵/۷۵ <sup>ns</sup>	۹۸/۳۹ <sup>ns</sup>	۱۵۹/۱۱ <sup>ns</sup>	۱۸/۲۱ <sup>ns</sup>	۷۰/۴۶۰ <sup>ns</sup>	۲	تکرار	
۰/۸۸ <sup>**</sup>	۱۰۳۸/۰۱ <sup>**</sup>	۲۴۸۲۲/۳۳ <sup>**</sup>	۴۵۱۷/۷۹ <sup>**</sup>	۶۵/۳۴ <sup>**</sup>	۴۴۵۹۹/۹۳ <sup>**</sup>	۲	کاربرد خاکی	
۰/۴۲ <sup>**</sup>	۱۰۱/۷۴ <sup>**</sup>	۲۵۰۰۴/۱۱ <sup>**</sup>	۲۶۷۷/۵۱ <sup>**</sup>	۲۶/۴۶ <sup>ns</sup>	۴۴۹۱۵/۷۱ <sup>**</sup>	۳	محلول پاشی	
۰/۲۴ <sup>*</sup>	۱۳۴/۶۹ <sup>**</sup>	۹۲۶۹/۵۴ <sup>**</sup>	۳۷۲/۰۹ <sup>ns</sup>	۲۹/۵۰ <sup>*</sup>	۲۱۶۶۳/۸۲ <sup>**</sup>	۶	کاربرد خاکی*محلول پاشی	
۰/۰۸	۲/۸۸	۱۹۸۱/۷۱	۲۵۵/۳۹	۱۰/۲۷	۲۱۵۷/۰۷	۲۲	خطا	
۷/۱۰	۸/۰۴	۳۷/۹۲	۳۲/۴۰	۳۸/۶۸	۳۱/۰۳		ضریب تغییرات (%)	

ns, \* و \*\* نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار و وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی بر محتوی روی اندام‌های مختلف برنج

تیمارهای آزمایشی	محتوای روی برگ (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی ساقه (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی ریشه (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی برگ (مرحله خوشه دهی)	محتوای روی ساقه (مرحله خوشه دهی)	محتوای روی ریشه (مرحله خوشه دهی)
میلی گرم در کیلوگرم						
کاربرد خاکی سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)						
بدون کود خاکی	۲۳/۶۸b	۲۲/۵۱a	۴۲/۴۸b	۳۳/۳۸b	۲۵/۲۳b	۵۳/۶۳b
۱۰ کیلوگرم در هکتار	۲۴/۱۶b	۲۳/۶۳a	۵۱/۱۷ab	۴۰/۷۴a	۲۷/۱۶a	۸۰/۴۸a
۲۰ کیلوگرم در هکتار	۲۷/۱۹a	۲۴/۲۵a	۶۰/۵۶a	۳۶/۰۳ab	۲۷/۱۴a	۸۹/۸۴a
مراحل محلول پاشی						
بدون محلول پاشی	۲۵/۲۲a	۲۲/۹۲a	۵۵/۸۳a	۲۸/۷۶b	۲۵/۴۱b	۷۱/۵۲a
پنجه زنی	۲۵/۰۷a	۲۲/۷۸a	۵۹/۳۶a	۵۳/۴۹a	۲۹/۲۲a	۸۷/۹۴a
خوشه دهی	۲۵/۲۲a	۲۵/۹۶a	۴۷/۴۶a	۳۴/۳۳b	۲۶/۳۹b	۶۴/۹۴a
مرحله رسیدگی	۲۴/۵۲a	۲۲/۱۹a	۴۲/۹۷a	۳۰/۳۰b	۲۵/۰۲b	۷۴/۲۰a

حروف مشابه در یک ستون بیانگر عدم تفاوت معنی دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی بر محتوی روی اندام‌های مختلف برنج

تیمارهای آزمایشی	محتوای روی برگ (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ساقه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ریشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی خوشه (مرحله رسیدگی)	محتوای پروتئین آرد (%)
میلی گرم در کیلوگرم					
کاربرد خاکی سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)					
بدون کود خاکی	۸۰/۰۷b	۵/۵۹b	۲۷/۲۳b	۶۵/۰۲b	۹/۴۶b
۱۰ کیلوگرم در هکتار	۱۷۵/۲۷a	۹/۶۳a	۵۷/۱۸a	۱۴۰/۴۳a	۹/۸۱b
۲۰ کیلوگرم در هکتار	۱۹۳/۶۴a	۹/۶۴a	۶۳/۵۸a	۱۴۶/۷۸a	۱۰/۳۵a
مراحل محلول پاشی					
بدون محلول پاشی	۷۰/۳۳b	۷/۸۲ab	۲۶/۴۳c	۳۸/۴۹b	۹/۵b
پنجه زنی	۲۱۰/۱۳a	۹/۷۷a	۴۹/۲۳b	۱۴۳/۱۹a	۱۰/۶۰ a
خوشه دهی	۲۰۸/۳۰a	۹/۴۹a	۶۸/۰۳a	۱۴۰/۰۷a	۱۰/۶۲ a
رسیدگی	۱۰۹/۸۷b	۶/۰۶b	۵۳/۶۲ab	۱۴۷/۸۸a	۱۰/۱۲ a

حروف مشابه در یک ستون بیانگر عدم تفاوت معنی دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

تیمارها	محتوای روی برگ (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی ساقه (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی ریشه (مرحله پنجه زنی)	محتوای روی برگ (مرحله خوشه‌دهی)	محتوای روی ساقه (مرحله خوشه‌دهی)	محتوای روی ریشه (مرحله خوشه‌دهی)		
	میلی گرم در کیلوگرم							
f0	۲۱/۷۷b	۲۴/۱۰a	۴۰/۸۳ab	۲۶/۷۷c	۲۴/۹۳b	۴۷/۴۳c	f0	z0
f1	۲۳/۸۳ab	۲۰/۰۳a	۵۱/۶۳ab	۳۶/۴۷bc	۲۵/۱۰b	۵۶/۸۳bc	f1	z0
f2	۲۴/۷۳ab	۲۶/۳۰a	۳۸/۱۰b	۳۸/۰۳bc	۲۶/۰۳b	۴۷/۲۷c	f2	z0
f3	۲۴/۳۷ab	۱۹/۶۰a	۳۹/۳۷b	۳۲/۲۷c	۲۴/۸۷b	۶۳/۰۰bc	f3	z0
f0	۲۶/۷۳ab	۲۲/۷۷a	۶۹/۹۳ab	۲۷/۴۰c	۲۵/۷۰b	۶۸/۴۷bc	f0	z1
f1	۲۱/۶۰b	۲۲/۶۰a	۴۸/۳۷ab	۷۶/۳۳a	۳۱/۸۰a	۸۷/۰۳abc	f1	z1
f2	۲۶/۱۷ab	۲۷/۳۳a	۴۲/۷۳ab	۳۱/۰۷c	۲۶/۲۰b	۷۰/۲۷bc	f2	z1
f3	۲۲/۱۳b	۲۱/۸۰a	۴۳/۶۳ab	۲۸/۱۷c	۲۴/۹۳b	۹۶/۱۷ab	f3	z1
f0	۲۷/۱۷ab	۲۱/۹۰a	۵۶/۷۳ab	۳۲/۱۰c	۲۵/۶۰b	۹۸/۶۷ab	f0	z2
f1	۲۹/۷۷a	۲۵/۷۰a	۷۸/۰۷a	۴۷/۶۷b	۳۰/۷۷a	۱۱۹/۹۷a	f1	z2
f2	۲۴/۷۷ab	۲۴/۲۳a	۶۱/۵۳ab	۳۳/۹۰c	۲۶/۹۳b	۷۷/۳۰bc	f2	z2
f3	۲۷/۰۷ab	۲۵/۱۷a	۴۵/۹۰ab	۳۰/۴۷c	۲۵/۲۷b	۶۳/۴۳bc	f3	z2

حروف مشابه در یک ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است. z0: بدون کود خاکی، z1: کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، z2: کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، f0: بدون محلول پاشی، f1: محلول پاشی در مرحله پنجه زنی، f2: محلول پاشی در مرحله خوشه‌دهی، f3: محلول پاشی در مرحله رسیدگی.

ادامه جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل صفات مختلف برنج تحت تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی

تیمارها	محتوای روی برگ (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ساقه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی ریشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی خوشه (مرحله رسیدگی)	محتوای روی آرد	محتوای پروتئین آرد (%)		
	میلی گرم در کیلوگرم							
f0	۴۷/۴۳c	۳۴/۲۷d	۶/۹۰cd	۳/۰۳e	۴۰/۸۰c	۹/۴۶c	f0	z0
f1	۵۶/۸۳bc	۵۷/۴۳cd	۱/۸۷d	۳۲/۹۰cd	۵۰/۳۳c	۱۰/۶۰b	f1	z0
f2	۴۷/۲۷c	۸۵/۰۷bcd	۷/۶۳bcd	۴۲/۰۳bcd	۲۷/۶۳c	۱۰/۶۲b	f2	z0
f3	۶۳/۰۰bc	۱۴۳/۵۰bc	۵/۹۷cd	۳۰/۹۷d	۱۴۱/۳۰ab	۱۰/۱۲b	f3	z0
f0	۶۸/۴۷bc	۲۷/۶۰d	۷/۷۷bcd	۴۱/۸۷bcd	۳۵/۰۰c	۹/۸۱c	f0	z1
f1	۸۷/۰۳abc	۲۶۲/۹۰a	۱۴/۱۷a	۵۴/۵۳bcd	۱۷۲/۶۰ab	۱۲/۵۳a	f1	z1
f2	۷۰/۲۷bc	۳۰۸/۶۷a	۹/۸۳abc	۶۲/۸۰bc	۲۲۴/۵۳a	۱۲/۳۳a	f2	z1
f3	۹۶/۱۷ab	۱۰۱/۹۰bcd	۶/۷۳cd	۶۹/۵۰b	۱۲۹/۵۷b	۱۱/۷۱b	f3	z1
f0	۹۸/۶۷ab	۱۴۹/۱۳b	۸/۸۳abc	۳۴/۴۰cd	۳۹/۶۷c	۹/۸۱c	f0	z2
f1	۱۱۹/۹۷a	۳۱۰/۰۷a	۱۳/۲۷ab	۶۰/۲۷bcd	۲۰۶/۶۳ab	۱۲/۵۳a	f1	z2
f2	۷۷/۳۰bc	۲۳۱/۱۷a	۱۱/۰۰abc	۹۹/۲۷a	۱۶۸/۰۳ab	۱۳/۴۵a	f2	z2
f3	۶۳/۴۳bc	۸۴/۲۰bcd	۵/۴۷cd	۶۰/۴۰bcd	۱۷۲/۷۷ab	۱۲/۳۳a	f3	z2

حروف مشابه در یک ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است. z0: بدون کود خاکی، z1: کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، z2: کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، f0: بدون محلول پاشی، f1: محلول پاشی در مرحله پنجه زنی، f2: محلول پاشی در مرحله خوشه‌دهی، f3: محلول پاشی در مرحله رسیدگی.

#### محتوای پروتئین

مرحله خوشه‌دهی حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با محلول پاشی در مرحله پنجه‌دهی و رسیدگی نداشت. (جدول ۵). Mahmoud (2016 and 17) Soltani et al. نشان دادند که کاربرد کود سولفات روی نه تنها بر میزان پروتئین دانه موثر است بلکه بر میزان

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد خاکی ( $p \leq 0.05$ ) و محلول پاشی سولفات روی ( $p \leq 0.01$ ) بر محتوای پروتئین آرد معنی‌دار بود (جدول ۳). بالاترین محتوای پروتئین آرد با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی در

تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست توده با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی در مرحله رسیدگی و خوشه دهی حاصل شد. همچنین بالاترین محتوای روی آرد با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی در مرحله پنجه زنی حاصل شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی داری نداشت ولی با عدم کاربرد کود خاکی تفاوت معنی داری نشان داد. بالاترین محتوای پروتئین آرد با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی در مرحله خوشه دهی حاصل شد و پایین ترین محتوای پروتئین آرد مربوط به تیمار عدم کاربرد کود خاکی بود. در نهایت می توان نتیجه گرفت که کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و محلول پاشی در مرحله خوشه دهی و رسیدگی تأثیر معنی داری بر عملکرد برنج داشته و موجب افزایش محصول برنج خواهد شد. همچنین کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی همراه با محلول پاشی در مرحله خوشه دهی موجب افزایش محتوای پروتئین آرد برنج می شود.

## REFERENCES

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

Amacher, M. C. 1996. Nickel, cadmium, and lead. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, 739-768.

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

Dobermann, A. and Fairhurst, T.H., 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. Handbook Series, Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute, Philippine, 191.

Emami, A. 2006. Methods of plant analysis. Technical bulletin 982. Soil and water research institute of Iran.

F.A.O. 2018. Rice market monitor. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations: Rome.

Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Clark, R.B., 2002. Micronutrients in crop production. In *Advances in Agronomy* (Vol. 77, pp. 185-268). Academic Press.

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, U.C. and Kalra, Y.P., 2006. Residual effect of copper and zinc from fertilizers on plant concentration, phytotoxicity, and crop yield response. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37(15-20), 2505-2511.

اسیدهای آمینه ضروری و غیر ضروری نیز تأثیر مثبت و معنی داری دارد. همچنین Mahmoud Soltani *et al.* (2019) نشان دادند که مصرف روی به صورت محلول پاشی در تمام مراحل رشد بر کیفیت دانه (میزان روی و پروتئین) تأثیر افزایشی داشته ولی برای نتیجه بهتر بایستی محلول پاشی به زمان رسیدن دانه نزدیکتر باشد (در این پژوهش محلول پاشی در زمان پرشدن دانه اعمال شد).

## نتیجه گیری

نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف کاربرد سولفات روی بر ارتفاع بوته، طول خوشه، طول و عرض برگ پرچم، طول پدانکل و پنالتیتمت، تعداد پنجه کل و تعداد پنجه بارور، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست توده، محتوای روی برگ، ساقه و ریشه در مرحله خوشه دهی، محتوای روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه در مرحله رسیدگی و نیز محتوای روی و پروتئین آرد معنی دار بود. بالاترین

Hussain, S., Maqsood, M.A., Rengel, Z. and Aziz, T., 2012. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. *Plant and Soil*, 361(1-2), pp.279-290.

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 <sup>65</sup>Zn after flowering in aerobic rice. *Annals of Applied Biology*, 150(3), pp.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. *Experimental Agriculture*, 41(4), pp.427-448.

JULIANO, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Sci. Today*, 16:334-340.

Khan, M.U., Qasim, M. and Jamil, M., 2002. Response of rice to zinc fertilizer in calcareous soils of DI Khan. *Asian J Plant Sci*, 1, pp.1-2.

Khan, P., Memon, M., Imtiaz, M., Depar, N., Aslam, M., Memon, M.S. and Shah, J.A., 2012. Determining the zinc requirements of rice genotype Sarshar evolved at NIA, Tandojam. *Sarhad Journal of Agriculture*, 28(1), pp.1-7.

Khan, R., Gurmani, A.R., Khan, M.S. and Gurmani, A.H., 2007. Effect of zinc application on rice yield under wheat rice system. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(2), pp.235-239.

Khoshgoftarmansh, 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), pp.1409-1416.
- Koochaki, A. and Sarmadnia, Gh. 2012. Physiology of crop plant. Jahad-e Daneshgahi Mashhad, Mashhad, Iran (in Persian).
- Little, R. R. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. *Cereal Chem.*, 35, 111-126.
- Mahmoud soltani 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), pp.127-138.
- Mahmoud soltani, S. 2018. Zinc deficiency, causes, symptoms and solutions. Technical Bulletin. Rice research institute of Iran. 31p.
- 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), pp.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), pp.185-192.
- MahmoudSoltani, 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.
- Malakooti, M. J. and Tehrani, H. 1999. Sustainable agriculture and high yield with fertilizer consume in Iran. Soil and water research institute of Iran. Tehran. Iran.
- Mehdi, S.M., Sarfraz, M. and Hafeez, M., 2007. Response of rice advance line PB-95 to potassium application in saline-sodic soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, 10(17), pp.2935-2939.
- Naik, S.K. and Das, D.K., 2007. Effect of split application of zinc on yield of rice (*Oryza sativa* L.) in an inceptisol. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 53(3), pp.305-313.
- Peng, S., 2000. Single-leaf and canopy photosynthesis of rice. In *Studies in Plant Science* (Vol. 7, pp. 213-228). Elsevier.
- Rahman, K.M., Chowdhury, M.A.K., Sharmeen, F., Sarkar, A., Hye, M.A. and Biswas, G.C., 2011. Effect of zinc and phosphorus on yield of *Oryza sativa* (cv. br-11). *Bangladesh Res. Pub. J*, 5(4), pp.315-358.
- Rehman, H.U., 2014. *N-Zn dynamics under different rice production systems* (Doctoral dissertation, University OF Agriculture, Faisalabad, Pakistan).
- 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), pp.203-226.
- Slaton, N.A., Gbur, E.E., Wilson, C.E. and Norman, R.J., 2005. Rice response to granular zinc sources varying in water-soluble zinc. *Soil Science Society of America Journal*, 69(2), pp.443-452.
- 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).
- Teale, W.D., Paponov, I.A. and Palme, K., 2006. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 7(11), p.847.
- Tonini, A. and Cabrera, E., 2011. Opportunities for global rice research in a changing world (No. 2215-2019-1630).
- Welch, R.M. and Graham, R.D., 2000. A new paradigm for world agriculture: productive, sustainable, nutritious, healthful food systems. *Food and Nutrition Bulletin*, 21(4), pp.361-366.
- Wu, C.Y., Lu, L.L., Yang, X.E., Feng, Y., Wei, Y.Y., Hao, H.L., Stoffella, P.J. and He, Z.L., 2010. Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(11), pp.6767-6773.
- Yakan, H., Gurbuz, M.A., Avar, F., Rurek, H. and Beer, N., 2000. The effect of zinc application on rice yield and some agronomic characters. *Cahiers Options Mediterraneennes*, 58, pp.1-5.
- Yoshida, S. and Benta, W.H., 1983. Potential productivity of field crops under different environments. *IRRI, Los Banos, Philippines*.
- Zou, 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.