Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Co-application of seed priming and foliar spraying by Zinc, a solution to enhance rice yield and grain Bio-fortification

Shahram Mahmoud Soltani[1]✉, Maryam Hossieni Chaleshtori[2], Shahram Nazari[3], Maryam Shakouri Katigari[4]

1. Corresponding Author, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran. E-mail: shmsoltani@gmail.com
2. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran. E-mail: mhkhossieni@gmail.com
3. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran. E-mail: shahram_nazari1986@yahoo.com
4. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran. E-mail: maryamshakouri@ymail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: June. 10, 2024

Revised: July. 24, 2024

Accepted: Aug. 5, 2024

Published online: Nov. 2024

Keywords:
Amino Acid,
Hashemi Cultivar,
Glycine,
Zinc Deficiency,
Zinc Sulphate.

ABSTRACT

Seed priming and foliar application of zinc on rice relies on higher contact and lesser application as new strategies enhances rice growth and development (quantitatively and qualitatively) in both normal and stress conditions. An open-air pot three factor-factorial experiment was conducted on a randomized complete block design with three replications to explore the effect of two aforementioned fertilizer application methods on morphological and physiological traits of Hashemi cultivar during 2021-2022 rice growing seasons. The applied experimental factors were: Nutripriming with zinc sulfate (5g.L^{-1}) for 6, 12, and 24 hours, and control; soil types at two levels (less and more than Zn critical level (2 mgkg^{-1}), and foliar application of 0.05% solution from amino acid chelate zinc source at maximum tillering, booting and ripening stages. The results clearly showed that the rice grain yield was increased through co-application of nutripriming with zinc sulfate (5g.L^{-1}) for 6 hours and foliar application of 0.05% solution from amino acid chelate zinc source at maximum tillering, booting and ripening stages by about 1.78 and 1.39 times compared to control 1 (soil 1) and control 2 (soil 2), respectively. With similar trend, the aforementioned combined treatments increased the straw yield by an average of 30% and the grain and straw zinc content by about 1.8 times and 99.25%, and 1.8 times and 46.45%.

Cite this article Mahmoud Soltani, Sh., Hoseini Chaleshtori, M., Nazari, Sh., & Shakouri Katigari, M. (2024) Co-application of Seed Priming and Foliar Spraying by Zinc, a Solution to Enhance Rice Yield and Grain Bio-fortification, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (9), 1451-1470. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.377502.669727

© The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.377502.669727

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Zinc (Zn), an essential micronutrient, is the only metal that forms a part of the six different classes of enzymes for crop growth and development. Seed priming and foliar application in rice by zinc relies on higher contact and lesser application as new strategies enhance rice growth and development (quantitatively and qualitatively) in both normal and stress conditions. Seed priming is a promising, rapid, efficient, and low-cost approach to increasing the rate of germination and more broadly crop yield and nutritional quality. Also, foliar application at vital physiological stages (booting, flowering and ripening) can enhance the biochemical processes to increase the quality and quantity of rice grain.

Objective(s):

The current experiment is designed to explore the effect of two aforementioned fertilizer application methods on rice morphological and physiological traits, and the zinc content of grain and straw of Hashemi cultivar during 2021-2022 rice growing seasons.

Material and Methods:

An open-air pot three factors factorial experiment was conducted on a randomized complete block design with three replications at the Rice Research Institute of Iran. The applied experimental factors were: Nutripriming with zinc sulfate ($5g.L^{-1}$) for 6, 12, and 24 hours, and control; soil types at two levels (less and more than Zn critical level ($2\ mgkg^{-1}$), and foliar application of 0.05% solution from amino acid chelate zinc source at maximum tillering, booting and ripening stages. The observed data were: rice grain, straw and biological yield, plant height, panicle length, total and fertile tiler number, 1000 grain weight, filled and unfilled grain number and zinc content of rice grain and straw.

Results:

The results clearly showed that the rice grain yield was increased through co-application of nutripriming with zinc sulfate ($5g.L^{-1}$) for 6 hours and foliar application of 0.05% solution from amino acid chelate zinc source at maximum tillering, booting, and ripening stages by about 1.78 and 1.39 times compared to control 1 (soil 1-low soil zinc) and control 2 (soil 2-high soil zinc), respectively. With a similar trend, co-application of nutripriming with zinc sulfate ($5g.L^{-1}$) for 6 hours and foliar application of 0.05% solution from amino acid chelate zinc source at maximum tillering, booting and ripening stages increased the straw yield averagely about 30% and the grain and straw zinc content by about 1.8 times and 99.25%, and 1.8 times and 46.45% compared to control 1 (soil 1-low soil zinc) and control 2 (soil 2-high soil zinc).

Conclusions:

It can be concluded that co-application of nutripriming with zinc sulfate ($5g.L^{-1}$) for 6 hours and foliar application of 0.05% solution from amino acid chelate zinc source at maximum tillering, booting, and ripening stages might be a new approach of lesser use of zinc fertilizer and higher positive effect to enhance the rice grain and nutritional quality at farmer field through rapid, cheaper and easy method.

Author Contributions

Shahram Mahmoud Soltani and Shahram Nazari conceived of the presented idea, developed the theory and performed the computations.and carried out the experiment. Maryam Hossieni Chaleshtori verified analytical methods and performed the computations. Shahram Mahmoud Soltani investigated and supervised the findings of this work. Maryam Shakouri Katigari handeled the laboratory soil and plant tissues analysis. All authors discussed the results and contributed to the final manuscript, but Shahram Mahmoud Soltani worte the final version of manuscript. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript. All authors contributed according their name place to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Raw data were generated at Rice Research Institute of Iran (RRII). Derived data supporting the findings of this study are available from the corresponding author [Shahram Mahmoud Soltani] on request after the permission of the RRII.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Rice Research Institute of Iran for support of the present study.

Ethical considerations

The study was approved by the Ethics Committee of the Rice Research Institute of Iran (Ethical code: 17-04-04-021-000537). The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۵، شماره ۹ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تاثیر کاربرد همزمان پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی، بر بهبود عملکرد برنج رقم هاشمی و غنی‌سازی زیستی دانه

شهرام محمود سلطانی[۱] ✉، مریم حسینی چالشتری[۲]، شهرام نظری[۳]، مریم شکوری کتیگری[۴]

۱. نویسنده مسئول، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. رایانامه: shmsoltani@gmail.com

۲. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران، رایانامه: mhkhossieni@gmail.com

۳. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. رایانامه: shahram_nazari1986@yahoo.com

۴. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. رایانامه: maryamshakouri@ymail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۵/۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۱۵
تاریخ انتشار: آذر ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
اسید آمینه،
برنج هاشمی،
سولفات‌روی ،
کمبود روی،
گلایسین.

چکیده

پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با محلول حاوی روی مبتنی بر تماس بیشتر و مقدار کمتر نتایج موفقیت‌آمیزی در افزایش عملکرد کمی و کیفی برنج داشته است. به‌منظور بررسی تاثیر این دو روش بر محتوای روی دانه و خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی برنج رقم هاشمی، آزمایشی گلدانی در هوای آزاد در طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایشی شامل: پیش‌تیمار بذر با سولفات‌روی در چهار سطح شامل بدون پیش‌تیمار بذر (شاهد)، پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت، خاک در دو سطح (با و بدون کمبود روی) و محلول‌پاشی با روی در دو سطح (بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با کود روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه بودند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی بود که نسبت به شاهد ۱ (خاک بدون کمبود روی) و شاهد ۲ (خاک با کمبود روی) به‌ترتیب ۱/۷۸ و ۱/۳۹ برابر سبب افزایش در عملکرد دانه شدند. همچنین تیمار ترکیبی ناشی از پیش‌تیمار بذر با به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی با کود روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه سبب افزایش محتوای روی در کاه و کلش و دانه برنج نسبت به شاهد ۱ و شاهد ۲ به ترتیب ۱/۸۰ برابر، ۹۹/۲۵ درصد، ۱/۸۰ برابر و ۴۶/۴۵ درصد شد.

استناد: محمود سلطانی؛ شهرام، حسینی چالشتری؛ مریم، ناظری؛ شهرام، شکوری کتیگری؛ مریم، (۱۴۰۳) تاثیر کاربرد همزمان پیش‌تیمار و محلول‌پاشی با عنصر روی، بر بهبود عملکرد برنج رقم هاشمی و غنی‌سازی زیستی دانه، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۹)، ۱۴۷۰-۱۴۵۱.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.377502.669727

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.377502.669727

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان گیاه زراعی راهبردی و غذای اصلی و تامین‌کننده ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین موردنیاز جمعیت‌های انسانی مناطق برنج‌خیز کشور در دشت ساحلی شمال کشور است جایی که ۸۰ درصد برنج کشور در آن تولید می‌شود (محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰). بخش جمعیت‌شناسی سازمان خواربار جهانی(فائو) برآورد نموده است که جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد و در سال ۲۱۰۰ به ۱۰/۳ میلیارد می‌رسد (PRB, 2020). پیش‌بینی سازمان خواربار جهانی(فائو) حاکی از آن است که برای تغذیه این جمعیت رو به افزایش، نیاز خواهد بود تا میزان تولید این منبع مطمئن غذایی برای ساکنان کشورهای برنج‌خیز جهان ۱۴۰ درصد نسبت به میزان تولید سال ۲۰۲۲ افزایش یابد (FAO, 2022). اگرچه طی دو دهه اخیر کشاورزان به ارقام پرمحصول، فناوری‌های نوین و آب آبیاری کافی دست یافتند تا افزایش در واحد سطح تولید برنج به عنوان تنها چشم‌اندازی که می‌تواند بر بحران کمبود مواد غذایی پایدار برای بشر غلبه کند را ارتقا دهند، چرا که افزایش سطح زیر کشت تنها ۷ درصد از افزایش تولید برنج را در مقیاس جهانی شامل می‌شود (Byerlee et al., 2014)، ولی همچنان راهبرد مصرف کودهای شیمیایی نقش حیایی در چرخه تولید بازی می‌کند (محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰). ستون فقرات این راهبرد به منابع مختلف، روش‌های متفاوت و زمان‌بندی گوناگون کاربرد کودهای مناسب وابسته است(Tonini and Cabrera, 2011)

پس از عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم، عنصر کم‌مصرف روی (Zn) روی به علت تاثیر و نقش مستقیم در تعداد زیادی از فرایندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه مانند فعال‌سازی ۳۰۰ آنزیم نقش اساسی در فیزیولوژی برنج دارد. همچنین به دلیل شرکت در سنتز پروتئین، متابولیسم‌های درگیر در تولید کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم باروری کمبود و یا نبود آن بیشترین تاثیر منفی را بر رشد و نمو، عملکرد کمی گیاه برنج و کیفیت خوراکی دانه آن (غنی‌سازی زیستی) دارد (محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج خاک‌های ارسالی به آزمایشگاه شیمی بخش تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور نشان داد که بخشی از اراضی شالیزاری دچار کمبود روی (کمتر از ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) بودند. کمبود روی در اراضی شالیزاری سبب کاهش چشمگیر عملکرد کمی و کیفی دانه برنج شده و در نتیجه کمبود عنصر روی در غذا و اختلالات ناشی از آن حدود ۲۵ درصد جمعیت بشری را به دلیل نقش بسیار کلیدی در چرخه رشد انسان مانند رشد فیزیکی اندام‌ها، عملکرد ایمنی بدن، سیستم عصبی و تولیدمثل و بلوغ را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Mahmoud Soltani et al., 2018).

پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با محلول حاوی روی به عنوان روش‌های نوین کاربرد کود مبتنی بر تماس بیشتر و مقدار کمتر نتایج موفقیت‌آمیزی در افزایش عملکرد کمی و کیفی دانه برنج در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشته است. مقدار بالای روی در بذور ناشی از پیش‌تیمار می‌تواند همانند یک کوددهی اولیه کافی و موثر عمل کرده و محرک خوبی برای دستیابی به عملکرد بالای محصولات کشاورزی باشد (Farooq et al., 2012). نظری و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی روی دو رقم برنج گوهر (اصلاح‌شده پرمحصول) و هاشمی (محلی با عملکرد متوسط) گزارش نمودند که تمامی پیش‌تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص برداشت تاثیر مثبت داشته و پیش‌تیمار روی به تنهایی به ترتیب سبب افزایش ۷، ۴ و ۴ درصدی این صفات شدند. Aboutalebian et al. (2012) طی پژوهشی با پیش‌تیمار سه رقم گندم دیم با محلول سولفات‌روی عملکرد دانه را ۲۶/۳ درصد افزایش داد. دادرسی و ابوطالبیان (۱۳۹۴) در بررسی تاثیر پیش‌تیمار با محلول غذایی سولفات‌روی با غلظت ۰/۰۳ درصد بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف آب و درصد پروتئین دو رقم ذرت نشان دادند که سرعت سبزشدن، طول بلال، قطر بلال، عدد کلروفیل‌متر، کارایی مصرف آب و پروتئین دانه به ترتیب ۴۷/۶، ۱۰/۹، ۱۳/۴، ۸/۵، ۹/۳ و ۱۱/۵ درصد افزایش داشت. اخگری و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی اثر پیش‌تیمار بذر بر شاخص‌های خوابیدگی بوته دو رقم برنج در روش کشت مستقیم نشان داد که پیش‌تیمار با سولفات‌روی می‌تواند در جلوگیری از خوابیدگی بوته موثر باشد. Mazhar et al. (2022) در پژوهشی به منظور بررسی تاثیر پیش‌تیمار بذر با نانواکسید روی بر خصوصیات مورفولوژیکی برنج بیان داشت که زیست‌توده برنج به طور معنی‌داری افزایش یافت. وی همچنین گزارش نمود در حالی که مقدار متوسط عملکرد شلتوک و کاه و کلش در شرایط کم‌آبی به ترتیب ۷۱/۶ و ۱۰۲/۳ گرم بود با پیش‌تیمار بذر با محلول ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانو اکسید روی مقدار این صفات به ۸۵/۳۳ و ۱۲۳/۳۳ گرم افزایش یافت. این نتایج با یافته‌های Li et al. (2021) در یک راستا بود. همچنین(2020) .Itroutwar et al نیز تاثیر پیش‌تیمار بذر با روی بر افزایش غنی‌سازی زیستی دانه برنج موثر و معنی‌دار دانستند.

علاوه بر پیش‌تیمار، محلول‌پاشی نیز با تکیه بر مفهوم مصرف کمتر و زمان مصرف هدفمندتر، به دلیل سرعت جذب بالاتر از طریق مبادی جذب مانند روزنه‌های برگ گیاه برنج، عناصر موردنیاز گیاه را سریع‌تر و منطبق بر چرخه رشد گیاه در مسیر سیستم‌های آوندی برای

انتقال به بافت‌های هدف قرار می‌دهد (محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰). Mahmoud Soltani et al. (2019; 2020) نشان دادند که کاربرد مصرف هر گونه کود حاوی روی نه‌تنها به‌طور متوسط سبب افزایش ۱۰ درصد عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام محلی و اصلاح‌شده گیاه برنج می‌شود بلکه بر میزان پروتئین دانه و اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری نیز تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد (Mahmoud Soltani et al., 2016; 2017). اگرچه مصرف روی به‌صورت محلول‌پاشی در تمام مراحل رشد بر کیفیت دانه (میزان روی و پروتئین) تأثیر افزایشی داشته ولی نتیجه بهتر زمانی به‌دست آمد که محلول‌پاشی در دو مرحله آغاز آبستنی و شروع رسیدن دانه انجام شد (Mahmoud Soltani et al., 2023). رمضانی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثر محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه و میزان روی دانه برنج رقم سازندگی، در اصفهان نشان دادند که حداکثر عملکرد دانه (۸۹۶۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات‌روی ثبت شد که نسبت به شاهد ۱۱/۸درصد بیشتر بود. همچنین حداکثر محتوای روی دانه (۳۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات‌روی به‌دست آمد که نسبت به شاهد اول (پاشش آب مقطر) ۱۶/۶درصد و نسبت به شاهد دوم (عدم محلول‌پاشی) ۱۹/۵درصد بیشتر بود.

اگرچه بر اساس مطالعات بسیاری که توسط پژوهشگران در زمینه تاثیر پیش‌تیمار و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (به تنهایی) بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی برنج صورت پذیرفته است ولی پژوهش‌های چندانی در خصوص تأثیر کاربرد همزمان این دو روش مصرف کود در برنج هم در دنیا و هم در کشور انجام نشده است. بنابراین هدف کلی این پژوهش بررسی اثربخشی تاثیر کاربرد همزمان پیش‌تیمار بذر با عنصر روی و محلول‌پاشی این عنصر بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی و همچنین تجمع روی در دانه در نظر گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به‌صورت گلدانی در هوای آزاد در سال زراعی ۱۴۰۰ در موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت به‌صورت فاکتوریل (سه عامل) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و روی رقم برنج محلی هاشمی در سه تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایشی شامل پیش‌تیمار بذر با سولفات‌روی در چهار سطح شامل: بدون پیش‌تیمار بذر (شاهد)، پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت، نوع خاک در دو سطح خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین در دو سطح بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با کود روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه بودند. در این آزمایش، براساس نتایج ثبت‌شده در بانک اطلاعاتی بخش تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور،۲۰ نمونه از خاک‌های شالیزاری استان گیلان و با گستره خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت، انتخاب و نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک در معرض هوا خشک شدند و پس از عبور دادن از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها مانند بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (Gee and Bower, 1986)، اسیدیته عصاره اشباع با الکترود شیشه‌ای (Bates and Vijh,1973)، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع به روش هدایت سنجی (Rhoads, 1982)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در اسیدیته ۷ (Bower, 1952)، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن (Olsen, 1954)، نیتروژن کل بر اساس روش کجلدال (Bermner, 1965)، پتاسیم قابل‌استفاده به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (Thomas, 1982) و روی به روش عصاره‌گیری با DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) اندازه‌گیری شد. سپس از بین نمونه‌ها، دو نمونه خاک با روی قابل‌استفاده کمتر و بیشتر از آستانه بحرانی (۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) (Dobermann and Fairhurst, 2000) انتخاب و برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). دو نمونه خاک انتخابی هوا خشک و خرد شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده و به مقدار ۲۰ کیلوگرم در گلدان‌های پلاستیکی با حجم ۲۹ لیتر ریخته شد. کود پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم (K_2O) در هکتار از منبع سولفات پتاسیم، کود نیتروژن به مقدار۶۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره و کود فسفره نیز به مقدار ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) از منبع سوپرفسفات تریپل براساس نتایج آزمایش خاک، به خاک گلدان‌ها افزوده و به خوبی با آن مخلوط شدند. پس از غرقاب نمودن و گلخرابی خاک گلدان‌ها، به گلدان‌ها زمان داده شد تا به شرایط خاک غرقابی برسند. سپس نشاکاری در مرکز هر گلدان به شکل سه گیاهچه‌ای از گیاهچه‌های یکدست رقم هاشمی در هر کپه انجام و آب تا ارتفاع پنج سانتی‌متر از سطح خاک به گلدان‌ها افزوده شد. کلیه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش‌های توصیه‌شده موسسه تحقیقات برنج کشور در کلیه گلدان‌ها به صورت یکسان اعمال شدند. درطول اجرای

آزمایش صفات مورفولوژیک مانند تعداد کل پنجه و تعداد پنجه بارور ، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، طول و عرض برگ پرچم (سانتی‌متر) و مساحت برگ پرچم (طول ضربدر عرض ضربدر ۰/۷۵ برای رقم هاشمی)، طول خوشه (سانتی‌متر) و صفات عملکردی (تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر و پوک در خوشه ، وزن هزار دانه با درصد رطوبت ۱۴ درصد، عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴درصد) اندازه‌گیری شدند. همچنین پس از برداشت غلظت روی در دانه و کاه و کلش به روش Karla (1997) اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها ابتدا از آزمون آماری کولموگرف–اسمیرونوف برای نرمال بودن داده‌ها استفاده و تجزیه وتحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین نیز با روش حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد با نرم‌افزار MSTATC انجام گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌های آزمایشی در جدول یک نشان داده شد. با توجه به نتایج خاک منطقه رشت دارای میانگین روی قابل‌جذب بیشتر از آستانه بحرانی (۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و خاک منطقه سیاهکل دارای میانگین روی قابل‌جذب کمتر از آستانه بحرانی است (Dobermann and Fairhurst, 2000). به استثنای روی قابل‌جذب سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش تفاوت معنی‌دار و موثر بر نتایج آزمون را ندارند.

جدول ۱ – ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های گلدان‌های آزمایشی پیش از شروع آزمایش

	واکنش خاک	هدایت الکتریکی	(رطوبت اشباع)	کربن آلی	ماده آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب	آهن قابل‌جذب	روی قابل‌جذب	رس‌سیلت‌شن بافت خاک		
		dS/m		درصد			میلی‌گرم بر کیلوگرم				درصد		
رشت	۷/۱۱	۰/۴۵	۸۷	۱/۴	۲/۴۱	۰/۱۳	۱۰	۱۹۸	۱۰۲	۶/۶	۵۱	۲۸	۲۱ رسی
سیاهکل	۷/۱۸	۰/۵۱	۷۹	۱/۳۵	۲/۳۴	۰/۱۰	۷/۴۵	۱۷۵	۶۹	۱/۱	۴۶	۸	۴۶ رسی شنی

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر با محلول سولفات‌روی و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی در خاک‌های با و بدون کمبود روی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		عملکرد دانه	عملکرد کاه و کلش	عملکرد زیست‌توده	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	تعداد دانه پر	تعداد دانه پوک	عرض برگ پرچم
تکرار	۲	۱/۵۰ ns	۴/۲۶ ns	۰/۹۱ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۲۷ ns	۴/۲۰ ns	۰/۵۱ ns	۰/۰۰۱ ns
نوع خاک	۱	۱۴۱۴/۲۷**	۱۰۵۱/۸۷**	۴۹۰۵/۵۷**	۰/۰۰۴**	۶/۰۲**	۱۸۴۷/۶۰**	۵۳۸۶/۹۲**	۰/۴۸**
پیش‌تیمار	۳	۷۷۰/۴۸**	۸۰۳/۸۱**	۳۰۶۴/۷۸**	۰/۰۰۲**	۱۲/۰۴**	۴۴۸/۶۴**	۱۷۵۶/۷۷**	۰/۲۷**
محلول‌پاشی	۱	۳۴۴/۴۹**	۸۵۲/۴۴**	۲۲۸۰/۷۲*	۰/۰۰۰ ns	۲۷/۰۰**	۷۳۷/۹۰**	۲۶۵۶/۶۷**	۰/۰۲ ns
نوع خاک× پیش‌تیمار	۳	۳۶/۸۷**	۱۰۶/۸۲**	۵۶/۴۷**	۰/۰۰۳**	۰/۴۸*	۱۳/۲۷ ns	۱۳۳۵/۷۱**	۰/۰۳ ns
نوع خاک × محلول‌پاشی	۱	۱۹/۵۲**	۱۳/۸۲*	۶۶/۶۲**	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۸ns	۹۵/۷۷**	۵۱۱۵/۰۰**	۰/۰۰۷ ns
پیش‌تیمار × محلول‌پاشی	۳	۱۳/۵۲**	۹/۳۳*	۲۶/۳۳**	۰/۰۰۰ ns	۰/۳۵ns	۱۶/۴۵ ns	۱۳۴۳/۱۷**	۰/۰۰۸ ns
نوع خاک× پیش‌تیمار × محلول‌پاشی	۳	۱۰/۲۷**	۷/۲۲ ns	۵/۸۹ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۸۸ns	۴/۶۷ ns	۱۵۷۷/۴۳**	۰/۰۱۲ ns
خطای آزمایش	۳۰	۱/۸۱	۳/۸۷	۳/۲۰	۰/۰۰۰	۰/۱۸	۶/۰۰	۱/۱۲	۰/۰۱۱
ضریب تغییرات (٪)		۲/۴۲	۲/۷۳	۱/۳۹	۱/۷۸	۱/۸۱	۲/۴۲	۳/۶۸	۱۳/۵۳

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد است.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر با محلول سولفات‌روی و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی در خاک‌های با و بدون کمبود روی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		طول برگ پرچم	مساحت برگ پرچم	طول خوشه	تعداد پنجه بارور	تعداد پنجه کل	ارتفاع بوته	محتوای روی در کاه و کلش	محتوای روی در دانه
تکرار	۲	۳/۱^{ns}	۴/۰۲^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۱/۸۹^{ns}	۷/۵۶^{ns}	۰/۵۶^{ns}	۶/۷۷^{ns}	۱/۵۳^{ns}
نوع خاک	۱	۱/۱۱^{ns}	۱۷۷/۵۲**	۵۷/۹۷**	۱۹۶/۰۲**	۳۵/۰۲**	۱۷۵۲/۰۸**	۲۱۰۲/۷۷**	۷۴۶/۵۵**
پیش‌تیمار	۳	۱۳۳/۷۷**	۳۱۹/۴۵**	۴۰/۳۷**	۱۴۲/۰۸**	۱۷۱/۱۹**	۴۱۸/۲۵**	۲۱۰/۲۱**	۱۵۷/۲۷**
محلول‌پاشی	۱	۲۲/۲۷**	۴۲/۹۹**	۱۲/۸۶**	۶۷/۶۸**	۸۲/۶۸**	۷۰/۰۸**	۴۵۲/۰۳**	۲۲۴/۰۳**
نوع خاک× پیش‌تیمار	۳	۱۰/۹۴**	۵/۵۳^{ns}	۴/۲۴*	۱۵/۲۴*	۲۱/۰۲**	۱۲/۱۴^{ns}	۱۴/۶۰**	۱/۶۴**
نوع خاک × محلول‌پاشی	۱	۱/۸۰^{ns}	۶/۹۲^{ns}	۰/۴۵^{ns}	۶/۰۲^{ns}	۱۱/۰۲*	۱۲۶/۷۵**	۱۱۴/۳۹**	۵۲/۷۱**
پیش‌تیمار × محلول‌پاشی	۳	۱/۳۷^{ns}	۱۰/۱۴^{ns}	۹/۹۳**	۳/۰۲^{ns}	۹/۵۷*	۶/۹۲^{ns}	۲۳/۹۴**	۱۳/۰۲**
نوع خاک× پیش‌تیمار × محلول‌پاشی	۳	۱/۸۴^{ns}	۸/۱۶^{ns}	۱/۴۰^{ns}	۱۳/۲۴^{ns}	۲/۶۸ns	۲۰/۱۴*	۴۶/۵۷**	۳/۳۱**
خطا	۳۰	۰/۸۵	۴/۰۶	۰/۹۶	۴/۷۴	۲/۰۵	۶/۳۶	۲/۷۲	۰/۳۵
ضریب تغییرات (٪)		۰/۸۴	۱۲/۵۵	۳/۷۰	۴/۹۵	۳/۱۸	۱/۹۴	۵/۶۹	۳/۰۷

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تأثیر سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر با محلول سولفات‌روی و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی در خاک‌های با و بدون کمبود روی

نوع خاک× پیش‌تیمار × محلول‌پاشی	عملکرد دانه	تعداد دانه پوک	ارتفاع بوته	محتوای روی در کاه و کلش	محتوای روی در دانه
	گرم در گلدان	عدد	سانتی‌متر	میلی‌گرم در کیلوگرم	
$S_1T_1F_1$	۴۴/۷۶gh	۲۳/۵۰b	۱۲۲/۶۷fg	۱۸/۱۳i	۱۱/۱۳h
$S_2T_1F_1$	۵۳/۹۱e	۲۰/۶۰d	۱۳۲/۶۷bc	۲۵/۵۳gh	۲۱/۵۳d
$S_1T_2F_1$	۵۸/۶۳d	۱۸/۵۷e	۱۲۸/۰۰de	۲۶/۱۰gh	۱۶/۱۰fg
$S_2T_2F_1$	۶۷/۶۷b	۱۷/۳۰ef	۱۴۴/۶۷a	۳۵/۵۷c	۲۵/۵۷b
$S_1T_3F_1$	۴۶/۰۸g	۲۲/۶۷bc	۱۱۹/۶۷g	۲۰/۰۷i	۱۰/۴۰h
$S_2T_3F_1$	۵۸/۳۴d	۲۲/۳۳bcd	۱۳۴/۰۰bc	۳۲/۶۰de	۲۱/۶۰d
$S_1T_4F_1$	۴۵/۲۷gh	۲۱/۶۷cd	۱۱۳/۶۷h	۱۹/۰۰i	۱۰/۶۷h
$S_2T_4F_1$	۵۰/۹۵f	۲۴/۰۰b	۱۳۴/۰۰bc	۳۰/۲۰ef	۱۹/۵۳e
$S_1T_1F_2$	۵۰/۳۱f	۱۵/۵۰g	۱۲۵/۰۰ef	۲۰/۲۳i	۱۶/۵۷f
$S_2T_1F_2$	۶۰/۵۸c	۱۷/۱۰efg	۱۳۳/۶۷bc	۴۰/۲۷b	۲۳/۹۳c
$S_1T_2F_2$	۶۷/۲۱b	۲۱/۶۷bc	۱۳۵/۳۳bc	۲۸/۰۷gf	۲۵/۰۷b
$S_2T_2F_2$	۷۵/۱۲a	۱۲/۳۳h	۱۴۶/۰۰a	۵۰/۸۷a	۳۱/۵۳a
$S_1T_3F_2$	۴۶/۰۸g	۹۶/۰۰a	۱۲۳/۰۰fg	۲۳/۶۷h	۱۶/۸۰f
$S_2T_3F_2$	۶۵/۹۴b	۱۵/۸۳fg	۱۳۲/۳۳bc	۳۵/۰۰cd	۲۰/۶۷d
$S_1T_4F_2$	۴۵/۲۷gh	۹۵/۳۳a	۱۲۳/۳۳fg	۲۳/۵۳h	۱۵/۵۳g
$S_2T_4F_2$	۵۵/۷۸e	۱۶/۰۰fg	۱۳۰/۰۰cd	۳۴/۶۷cd	۲۱/۰۰d

S1 و S2 به ترتیب عبارتند از خاک با کمبود روی($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$)؛ T1، T2، T3 و T4 به ترتیب عبارتند از پیش‌تیمار بذر با محلول سولفات‌روی به مدت ۰، ٦، ۱۲ و ۲٤ ساعت؛ F1 و F2 به ترتیب عبارتند از بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین ۵ در هزار ؛ در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل تأثیر سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر با محلول سولفات‌روی و نوع خاک بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی

نوع خاک× پیش‌تیمار	عملکرد کاه و کلش	عملکرد زیست‌توده	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	طول برگ پرچم	طول خوشه	تعداد پنجه بارور	تعداد پنجه کل
	گرم در گلدان		٪	گرم	سانتی‌متر		عدد	
S_1T_1	۶۴/۸۸ef	۱۱۲/۴۲f	۰/۴۲c	۲۲/۲۲c	۲۵/۳۳b	۲۴/۳۳d	۳۹/۳۳d	۴۱/۰۰e
S_2T_1	۷۸/۹۶b	۱۳۶/۲۱c	۰/۴۲c	۲۳/۱۷b	۲۳/۶۷c	۲۷/۲۲b	۴۶/۳۳b	۵۰/۱۷a
S_1T_2	۷۶/۰۶c	۱۳۸/۹۸b	۰/۴۵b	۲۴/۴۳a	۲۸/۷۱a	۲۷/۶۷b	۴۶/۳۳b	۴۶/۳۳b
S_2T_2	۹۰/۹۲a	۱۶۲/۳۲a	۰/۴۷۵a	۲۴/۹۰a	۲۸/۰۰a	۳۰/۹۸a	۵۱/۱۷a	۵۱/۱۷a
S_1T_3	۶۵/۵۵e	۱۱۱/۶۳f	۰/۴۱c	۲۲/۳۳c	۲۳/۵۰c	۲۵/۰۰cd	۴۱/۳۳cd	۴۴/۰۰c
S_2T_3	۶۸/۷۹d	۱۳۰/۹۳d	۰/۴۱c	۲۳/۴۸b	۲۲/۱۷d	۲۶/۹۵b	۴۳/۰۰c	۴۳/۰۰cd
S_1T_4	۶۲/۶۲f	۱۰۶/۸۰g	۰/۴۱c	۲۲/۳۳c	۱۹/۱۷e	۲۵/۰۲cd	۴۰/۰۰d	۴۱/۶۷ed
S_2T_4	۶۷/۸۸d	۱۲۱/۲۴e	۰/۴۴b	۲۲/۶۲c	۲۲/۶۷d	۲۵/۶۵c	۴۳/۱۷c	۴۳/۱۷cd

S1 و S2 به ترتیب عبارتند از خاک با کمبود روی($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$)؛ T1، T2، T3 و T4 به ترتیب عبارتند از پیش‌تیمار بذر با محلول سولفات‌روی به مدت ۰، ٦، ۱۲ و ٢٤ ساعت؛ در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثرات متقابل تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین ٥ در هزار و نوع خاک بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی

نوع خاک× محلول‌پاشی	عملکرد کاه و کلش	عملکرد زیست‌توده	تعداد دانه پر	تعداد پنجه کل
	گرم در گلدان		عدد	
S_1F_1	۶۳/۵۹c	۱۱۱/۷۴d	۸۹/۳۳d	۴۲/۴۲c
S_2F_1	۷۱/۸۸b	۱۲۹/۶۰b	۱۰۴/۵۷b	۴۵/۰۸b
S_1F_2	۷۰/۹۵b	۱۲۳/۱۷c	۱۰۰/۰۰c	۴۶/۰۰ab
S_2F_2	۸۱/۳۹a	۱۴۵/۷۵a	۱۰۹/۵۸a	۴۶/۷۵a

S1 و S2 به ترتیب عبارتند از خاک با کمبود روی(Zn<2mgkg-1) و خاک بدون کمبود روی (Zn>2mgkg-1)؛ F1 و F2 به ترتیب عبارتند از بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین ٥ در هزار ؛ در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی¬دار در سطح احتمال پنج درصد است.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین ٥ در هزار و سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر با محلول سولفات‌روی بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی

نوع خاک× پیش‌تیمار	عملکرد کاه و کلش	عملکرد زیست‌توده	طول خوشه	تعداد پنجه کل
	گرم در گلدان		سانتی‌متر	عدد
T_1F_1	۶۶/۹۸d	۱۱۵/۷۳f	۲۴/۴۲e	۴۱/۳۳d
T_1F_2	۷۷/۴۵c	۱۳۲/۸۹c	۲۷/۱۳v	۴۶/۰۰c
T_2F_1	۷۹/۸۳b	۱۴۲/۹۷b	۲۸/۵۲b	۴۹/۶۷b
T_2F_2	۸۷/۱۶a	۱۵۸/۳۲a	۳۰/۱۳a	۵۱/۶۷a
T_3F_1	۶۳/۲۴f	۱۱۵/۴۴f	۲۶/۷۵cd	۴۱/۸۳d
T_3F_2	۷۱/۱۰d	۱۲۷/۱۱d	۲۵/۲۰de	۴۵/۱۷c
T_4F_1	۶۱/۵۲f	۱۰۸/۵۴g	۲۴/۶۵e	۴۲/۱۷d
T_4F_2	۶۸/۹۸d	۱۱۹/۵۱e	۲۶/۰۲cd	۴۲/۶۷d

S T1، T2، T3و T4 به ترتیب عبارتند از پیش‌تیمار بذر با محلول سولفات‌روی به مدت ۰، ٦، ۱۲ و ٢٤ ساعت؛ F1 و F2 به ترتیب عبارتند از بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین ٥ در هزار ؛ در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی¬دار در سطح احتمال پنج درصد است.

صفات عملکرد و اجزای عملکرد

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، کاربرد تمامی تیمارها (به تنهایی) شامل پیش‌تیمار بذر با محلول ٥ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت، خاک در دو سطح خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) ($p\leq0.01$) و محلول‌پاشی

با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه در سطح احتمال ۵ درصد($p\leq0.05$) بر صفت عملکردی (دانه، کاه و کلش و زیست‌توده) معنی‌دار بوده و اثر متقابل سه گانه انها در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0.01$) بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌دار داشتند. این در حالی است که اثر متقابل دوگانه همه عامل‌های بیان‌شده در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0.01$) بر عملکرد زیست‌توده و کاه و کلش معنی‌دار بود. به استثنای اثر متقابل پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه که در سطح احتمال ۵ درصد ($p\leq0.05$) بر عملکرد کاه و کلش تأثیر معنی‌دار داشتند. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر کاربرد بیشتر تیمارها به تنهایی بر صفات اجزای عملکرد مانند وزن هزار دانه، تعداد دانه پر، تعداد دانه پوک، طول خوشه، تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) معنی‌دار بود. این در حالی است که اثرات متقابل دوگانه همه‌ی تیمارهای کاربردی بر تعداد کل پنجه و تعداد دانه پوک؛ اثر متقابل فقط نوع خاک و پیش‌تیمار بر وزن هزار دانه، تعداد پنجه بارور و شاخص برداشت؛ برهم کنش نوع خاک و محلول‌پاشی بر تعداد دانه پر و بر هم‌کنش نوع خاک و پیش‌تیمار و پیش‌تیمار و محلول‌پاشی بر طول خوشه در سطوح ۱ ($p\leq0.01$) و ۵ درصد ($p\leq0.01$) (جدول ۲) معنی‌دار بود.

صفات عملکردی (عملکرد دانه، کاه و کلش و زیست‌توده)

مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نیز نشان داد که بیشترین میزان تاثیر بر عملکرد دانه ناشی از تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه بود که نسبت به شاهد۱(خاک با میزان روی بیشتر از حد بحرانی) (۴۴/۷ گرم در گلدان) و شاهد ۲ (خاک با میزان روی کمتر از حد بحرانی) (۵۳/۹ گرم در گلدان) به ترتیب ۱/۷۸ و ۱/۳۹ برابر سبب افزایش در عملکرد دانه شدند. نکته حائز اهمیت این است که با افزایش زمان پیش‌تیمار از ۶ به ۱۲ ساعت علی‌رغم افزایش میزان عنصر روی در بذر پیش‌تیمارشده، عملکرد اختلاف معنی‌داری با شاهدها نداشته و در پیش‌تیمار ۲۴ ساعت کاهشی بین ۶ درصد در خاک با کمبود روی و ۹ درصد در خاک بدون کمبود روی را در این صفت به ثبت رسانده است. این در حالی است که کاربرد تیمار محلول‌پاشی با عنصر روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین در پیش‌تیمارهای مذکور توانسته جلوی این کاهش را بگیرد (جدول ۳).

همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه تیمارهای پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت و نوع خاک در دو سطح خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت بود (۹۰/۹۲ گرم در گلدان) که نسبت به شاهد ۱– خاک ۱(۶۴/۹ گرم در گلدان) و شاهد ۲ — خاک ۲(۷۶/۱ گرم در گلدان) به ترتیب ۴۰ و ۱۹/۵ درصد سبب افزایش در عملکرد کاه و کلش شدند. نکته حائز اهمیت این است که با افزایش زمان پیش‌تیمار از ۶ به ۱۲ و ۲۴ ساعت علی‌رغم افزایش محتوای عنصر روی در بذور پیش‌تیمار شده، عملکرد کاه و کلش در هر دو خاک با کمبود روی و بدون کمبود روی کاهشی در حدود ۱۰ درصد را به ثبت رسانده است (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه تیمارهای محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه و نوع خاک، دو سطح خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه بود که نسبت به شاهد ۱(خاک ۱) (۶۳/۵۹ گرم در گلدان) و شاهد ۲(خاک ۲) (۷۱/۸۸ گرم در گلدان) به ترتیب ۱۱/۵ و ۱۳/۲درصد سبب افزایش در عملکرد کاه و کلش شدند (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه تیمارهای پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه بود (۸۷/۱۶ گرم در گلدان) که نسبت به شاهد (۶۶/۹۸ گرم در گلدان) عملکرد کاه و کلش را ۳۰ درصد افزایش داد. نکته حائز اهمیت این است که با افزایش زمان پیش‌تیمار از ۶ به ۱۲ و ۲۴ ساعت علی‌رغم افزایش محتوای عنصر روی در بذور پیش‌تیمار، عملکرد کاه و کلش در هر دو خاک با کمبود روی و بدون کمبود روی کاهشی در حدود ۱۰ درصد را به ثبت رسانده است، اگرچه محلول‌پاشی در کاهش این روند تاثیر مثبت داشته است. (جدول ۶).

از طرف دیگر مقایسه میانگین اثرات متقابل دو گانه تیمارهای پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت و خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از پیش‌تیمار بذر بر زیست‌توده با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت بود (۱۶۲/۳۲گرم در گلدان) که نسبت به شاهد ۱(خاک ۱) (۱۱۲/۴ گرم در گلدان) و شاهد ۲ (خاک ۲) (۱۳۶/۲ گرم در گلدان) سبب افزایش به ترتیب ۴۴/۴ و ۱۰ درصدی در عملکرد زیست‌توده شدند. نکته حائز اهمیت این است که با افزایش زمان پیش‌تیمار از ۶ به ۱۲ و ۲۴ ساعت علی‌رغم افزایش محتوای عنصر روی در بذور پیش‌تیمار شده، عملکرد زیست‌توده در هر دو خاک با کمبود روی و بدون کمبود روی روندی کاهشی را در این صفت به ثبت رسانده است، اگرچه محلول‌پاشی توانست در بهبود این کاهش این تاثیر منفی موثر عمل کند (جدول۴).

همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل دو گانه تیمارهای محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه و نوع خاک در دو سطح خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه بود (۱۴۵/۸ گرم در گلدان) که نسبت به شاهد ۱(خاک ۱) (۱۱۱/۷ گرم در گلدان) و شاهد ۲ (خاک ۲) (۱۲۹/۶ گرم در گلدان) به ترتیب ۳۰/۵ و ۱۲/۵ درصد سبب افزایش در عملکرد زیست‌توده شدند. (جدول ۵).

مقایسه میانگین اثرات متقابل دو گانه تیمارهای پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه بود (۱۵۸/۳ گرم در گلدان) که نسبت به شاهد (۱۱۵/۷ گرم در گلدان) ۳۶/۸ درصد سبب افزایش در عملکرد زیست شدند. نکته حائز اهمیت این است که با افزایش زمان پیش‌تیمار از ۶ به ۱۲ و ۲۴ ساعت علی‌رغم افزایش میزان عنصر روی در بذور تیمار شده، عملکرد کاه و کلش در هر دو خاک با کمبود روی و بدون کمبود روی کاهشی در حدود ۱۰ درصد را در این صفت به ثبت رسانده است و محلول‌پاشی در کاهش این روند تاثیر مثبت داشته است (جدول ۶).

به‌طورکلی افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به وسیله پیش‌تیمار بذر همچنان که محققین دیگر نیز گزارش کرده‌اند، می‌تواند به دلیل بهبود ویژگی‌های آنتی‌آکسیدانی، رشد سریع گیاهچه، استقرار مناسب و در نهایت استفاده مطلوب از عوامل محیطی نور، رطوبت خاک و عناصر غذایی باشد (محمود سلطانی و پورصفر، ۱۴۰۰). نتایج پژوهش نظری و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که پیش‌تیمار بذر برنج به صورت پیش‌تیمار و پوشش‌دار کردن بذر سبب بهبود عملکرد دانه گردید که در این بین نقش پیش‌تیمار بذر ملموس‌تر بود. به‌طوری‌که پیش‌تیمار با سولفات‌روی باعث افزایش ۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد. از آنجا که عنصر روی یک بخش ساختمانی آنزیم‌های کربونیک آنهیدراز، الکل دهیدروژناز، سوپراکسید دیسمیوتاز و RNA پلیمراز بوده و سنتز اکسین در گیاهان نیز توسط آن کنترل می‌شود. وجود عنصر روی کافی باعث افزایش سنتز آنزیم‌ها و هورمون‌ها در کنار متابولیسم عناصر اصلی شده که سبب تحریک مؤلفه‌های رشد گیاه و افزایش عملکرد می‌شود. همچنین اثر مطلوب عنصر روی به دلیل تأثیر مستقیم آن بر کیفیت اکسین تولیدی، رشد گیاه را بهبود می‌بخشد. روی همچنین نقش اصلی در فرآیند گرده‌افشانی، تشکیل اندام‌های زایشی نر و ماده و فرآیند تشکیل دانه دارد (Mahmoud Soltani et al., 2023). محمود سلطانی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی تاثیر روی و آهن کلات‌شده بر عملکرد دانه رقم هاشمی نشان داد که محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین حتی به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار نیز سبب افزایش بیش از ۲۰ درصدی عملکرد دانه، افزایش ۳۳/۳۸ درصدی عملکرد کاه و کلش و ۱۳ درصدی صفت زیست‌توده در رقم هاشمی شده است. منازی فرد و سپهری (۱۳۹۱) در بررسی تاثیر کاربرد همزمان پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با روی، بیشترین افزایش عملکرد کل (۹٪) با محلول‌پاشی سولفات روی در مراحل پنجه‌زنی و آبستنی و پیش‌تیمار بدست آمد. Mazhar et al. (2022) در پژوهشی با کاربرد پیش‌تیمار بذر با ترکیب نانو اکسید روی نشان داد که این روش عملکرد کاه و کلش را هم در شرایط غیر تنش و هم در شرایط تنش خشکی افزایش داد. بیشترین میزان تاثیر در پیش‌تیمار بذر با محلول نانو اکسید روی با غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام و به میزان ۲۲درصد شد. نظری و همکاران (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) نشان دادند که بالاترین عملکرد زیست‌توده (بیولوژیک) در تیمارهای پیش‌تیمار و پوشش‌دار کردن بذر به‌ترتیب با ۵۵۵۲ و ۵۴۱۴ کیلوگرم در هکتار در رقم گوهر مشاهده شد که از نظر آماری در یک گروه معنی‌دار قرار گرفتند. Sadeghizadeh and Zarea (2022) در بررسی تاثیر پیش‌تیمار بذر با عنصر روی بر خصوصیات زراعی دو رقم برنج عنبربو و شمشیری بیان داشتند که این روش تاثیر مثبتی بر زیست‌توده

هر دو رقم برنج مورد آزمایش داشته و میزان زیست‌توده تر و خشک را به ترتیب ۲۲/۶ و ۲۰/۲ درصد افزایش داد. البته وی این افزایش را ناشی از افزایش سایر اجزای عملکرد مانند ارتفاع گیاه و تعداد برگ و طول برگ دانست.

کلات‌های آمینواسید عناصر کم‌مصرف نقش مهمی در تامین نیتروژن با قابلیت جذب بالا برای محصولات کشاورزی ایفا می‌کنند. چرا که این آمینواسیدها دارای بین ۲ تا ۲۰ درصد نیتروژن به شکل اسیدآمینه هستند (Souri et al., 2019a,b). نتایج این عملکرد فوق‌العاده نشان می‌دهد که این کودها چه نقش برجسته‌ای در رشد و توانایی تولید محصولات زراعی دارند. فارغ از اینکه با مصرف در خاک از ریشه جذب شوند یا در اثر محلول‌پاشی از برگ به چرخه فتوسنتز وارد گردند (Fahimi et al., 2016). چرا که در سطح مولکولی این ترکیبات نه تنها پروتئین‌های انتقال‌دهنده ویژه خود را برای انتقال دارند بلکه از طریق کانال‌های غشایی نیز می‌تواند جذب شوند. بنابراین تحت شرایط کمبود نیتروژن و یا در شرایط محدودیت جذب آن، محلول‌پاشی کودهای حاوی آمینواسیدها می‌تواند به سرعت این عنصر را در اختیار گیاه قرار داده که نتیجه‌اش بازیافت موثر در برگ گیاه است (Ghamsemi et al., 2014). Tuiwong et al. (2022) نشان داد که محلول‌پاشی با ترکیبات حاوی روی و نیتروژن (مشابه با ترکیب کاربردی در این آزمایش) سبب افزایش ۳۲/۵ درصدی عملکرد دانه و ۱۸ درصدی عملکرد کاه و کلش شد. وی این افزایش را ناشی از وجود نیتروزن و روی و اثرشان در گلدهی بهتر و توسعه مناسب‌تر مرحله پر شدن دانه بیان نمود.

شاخص برداشت

مقایسه میانگین اثرات متقابل دو گانه تیمارهای پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت و نوع خاک نوع خاک در دو سطح خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت بود (۴۷/۵) که نسبت به شاهد ۱(خاک ۱) (۴۲ درصد) و شاهد ۲ (خاک ۲) (۴۲ درصد) سبب افزایش ۷ و ۱۴ درصدی (به ترتیب) در شاخص برداشت شدند (جدول ۴).

نظری و همکاران (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) نشان دادند که پیش‌تیمار بذر با سولفات‌روی ۵ در هزار شاخص برداشت برنج را در هر دو رقم مورد آزمایش گوهر (اصلاح‌شده) (۷ درصد) و هاشمی (بومی) (۳ درصد) افزایش داد، ولی به علت کودپذیری بیشتر گوهر، این افزایش در آن چشمگیرتر بود. پیش‌تیمار بذر برنج با بهبود شرایط از طریق افزایش شاخص سطح برگ موجب افزایش عملکرد دانه برنج و شاخص برداشت گردید (Rehman et al., 2015). آنها افزایش شاخص برداشت در اثر پیش‌تیمار را به توزیع ماده خشک تولیدی به سمت اندام‌های زایشی نسبت دادند. عرضه مواد پرورده از فتوسنتز جاری و مواد ذخیره‌ای در طول دوره پر شدن دانه تعیین‌کننده وزن دانه به هنگام برداشت است. از آنجا که پیش‌تیمار و پوشش‌دار کردن بذور موجب تسریع مراحل نموی گیاه می‌شود، ممکن است انتظار رود که دانه برنج مدت زمان بیش‌تری برای ذخیره مواد پرورده را در اختیار دارد و چون وزن هر دانه در درجه اول به‌وسیله طول دوره پرشدن تعیین می‌شود در نتیجه تیمار بذر موجب افزایش شاخص برداشت می‌شود.(Rehman et al. (2015 اظهار داشتند پیش‌تیمار سبب افزایش هشت درصدی شاخص برداشت نسبت به تیمار شاهد در گیاه برنج شد. این محققان افزایش تسهیم ماده خشک به سمت خوشه که در نتیجه سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود را دلیل افزایش شاخص برداشت عنوان کردند.

صفات اجزای عملکردی

وزن هزاردانه

مقایسه میانگین اثر ساده تیمار کاربردی محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه نشان داد که محلول‌پاشی به تنهایی سبب افزایش ۱۲درصدی در صفت وزن هزاردانه شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل دو گانه تیمارهای پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت و نوع خاک نوع خاک در دو سطح خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) بود که بدون تفاوت معنی‌دار با خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) سبب افزایش ۷/۵ و ۹/۹ درصدی در وزن هزاردانه شدند (جدول ۴).

این نکته که محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین می‌تواند سبب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه شده است پیش از این نیز در مطالعه محمود سلطانی و همکاران (۱۴۰۰) گزارش شده است. بر این اساس محلول‌پاشی روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم سبب افزایش ۱۵/۸ درصدی این صفت شد. در برنج، اغلب وزن هزار دانه ثابت است و از پایدارترین ویژگی‌های رقم

به شمار می‌رود، با این وجود به‌نظر می‌رسد کاربرد سولفات‌روی تأثیر مثبتی بر وزن هزار دانه داشته و باعث افزایش این صفت شده است چرا که کمبود روی، موجب می‌گردد تا دانه‌های ضعیفی تشکیل گردد (Rehman et al., 2012). به‌نظر می‌رسد که افزایش وزن هزار دانه در اثر مصرف روی به دلیل افزایش مواد ذخیره‌شده و کاهش محدودیت منبع می‌باشد که موجب سرازیر شدن مواد پرورده به سمت دانه می‌گردد. مهم‌ترین دلیل افزایش وزن هزار دانه را افزایش و بهبود فرآیند انتقال مجدد مواد غذایی و افزایش انتقال اولیه به‌وسیله 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., 2017).

نظری و همکاران (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) نشان دادند که اثر پیش‌تیمار بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود. همچنین یافته‌های این پژوهش به‌خوبی نشان داد که پیش‌تیمار بذر برنج می‌تواند سبب افزایش وزن هزار دانه گردد. پیش‌تیمار بذر با سولفات‌روی ۵ در هزار وزن هزار دانه برنج در هر دو رقم مورد آزمایش گوهر (اصلاح‌شده) (۱۱/۹ درصد) و هاشمی (بومی) (یک درصد) را افزایش داد ولی به علت کودپذیری بیشتر گوهر، این افزایش در آن چشم‌گیرتر بود. Nawaz et al. (2016)دلیل افزایش وزن دانه را به افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در متابولیسم ساکارز سینتتاز، اینورتازها و ساکارز فسفات سینتتاز نسبت دادند. نتایج مطالعه‌شان نشان داد که پیش‌تیمار با مواد اُسمزی و آب به‌ترتیب سبب افزایش ۱۱ و ۵ درصد وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد در گیاه زراعی برنج گردید. آن‌ها همچنین افزایش وزن دانه به‌واسطه پیش‌تیمار کردن را عمدتاً ناشی از افزایش طول دوره یا سرعت پر شدن نسبت دادند که در این مورد قدرت مخزن نقش کلیدی دارد (Rehman et al. 2015). در پژوهشی نشان داده شد که پیش‌تیمار بذر برنج از طریق بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای و سایر خصوصیات زایشی سبب افزایش وزن هزار دانه شد (Nie et al., 2022).

تعداد دانه پر و پوک

مقایسه میانگین اثر ساده تیمار پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت نیز نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از تیمار پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت بود (۱۱۰ عدد) که نسبت به شاهد (۹۸/۳۲عدد) سبب افزایش ۱۱/۸۸ درصدی در این صفت شد (داده‌ها نشان داده نشد). مقایسه میانگین اثرات متقابل دو گانه تیمارهای محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه و نوع خاک در دو سطح خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و به میزان ۱۰۹/۵۸ عدد بوده که درمقایسه با شاهد ۱ (خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) (۸۹/۳) و شاهد ۲ (خاک با کمبود روی $Zn<2mgkg^{-1}$) (۱۰۴/۶) بطور معنی‌داری سبب افزایش۱۱/۹ و ۴/۸ درصدی در صفت تعداد دانه پر شدند (جدول ۵).

مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه همه تیمارها نشان داد که بیشترین میزان تاثیر در کاهش پوکی دانه ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه به میزان ۱۲/۳ عدد بوده که در مقایسه با شاهد ۱ (خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) (۲۳/۵ عدد) و شاهد ۲ (خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) (۲۰/۶ عدد) بطور معنی‌داری سبب کاهش۹۰/۶ و ۶۷/۱ درصدی در صفت تعداد دانه پوک شدند (جدول ۳).

نظری و همکاران (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) بیان داشتند که تعداد دانه در خوشه یکی از صفات تعیین‌کننده عملکرد دانه محسوب می‌شود. هر چه تعداد دانه در بوته بیش‌تر باشد مخزن بزرگتری برای مواد فتوسنتزی تولیدشده توسط گیاه ایجاد می‌شود که در نهایت به افزایش عملکرد دانه منجر می‌شود. نتایج مقایسه میانگین اثر پیش‌تیمار بر تعداد در خوشه نشان داد پیش‌تیمار بذر ارقام برنج مورد آزمایش با محلول حاوی سولفات‌روی به ترتیب سبب افزایش ۱۶/۳ و ۱۶/۹ درصدی تعداد دانه ارقام هاشمی و گوهر شد. عباس‌دخت و عارف بیکی (۱۳۹۴) در یک آزمایش بیان کردند که فعالیت کلروفیل و به دنبال آن میزان فعالیت فتوسنتزی گیاه تحت اثر پیش‌تیمار قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان علت افزایش تعداد دانه در خوشه در اثر تیمار کردن بذر را به فعالیت فتوسنتزی در نتیجه استقرار زودهنگام و بهره‌گیری مناسب از منابع محیطی گیاه زراعی نسبت داد.

محمود سلطانی و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند که محلول‌پاشی روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم سبب افزایش ۴۶/۱ درصدی تعداد دانه پر و ۳۳/۴ درصد کاهش در تعداد دانه پوک شدند. درصد خوشه‌چه‌های پرشده نقش مهمی در افزایش عملکرد برنج دارد. همچنین ظرفیت مخزن نقش مهمی در تخصیص ماده خشک اندام‌های هوایی به خوشه‌ها و درصد پر شدن دانه‌ها افزایش می‌یابد. Mahmoud Soltani et al. (2020) نیز محلول‌پاشی با سولفات‌روی باعث افزایش معنی‌داری در تعداد دانه در خوشه

گیاه برنج نسبت به شاهد شد. که می‌تواند ناشی از تأثیر مثبت بر جذب سایر عناصر در دانه و متابولیسم اکسین باشد که در نتیجه باعث تعداد دانه‌ها در خوشه می‌شود. مطالعات بسیاری نشان می‌دهند که کاربرد کودهای آمینو کلات تاثیر معنی‌داری بر بهبود صفات رویشی و زایشی گیاهان زراعی دارد (Fahimi et al., 2016; Souri et al., 2019).

طول خوشه

مقایسه میانگین اثر ساده تیمار کاربردی محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه نیز نشان داد که محلول‌پاشی به تنهایی سبب افزایش ۴ درصدی طول خوشه شدند. مقایسه میانگین اثرات متقابل دو گانه تیمارهای پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی و نوع خاک نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت (۳۰/۹ سانتی‌متر) بود که درمقایسه با شاهد ۱ (خاک بدون کمبود روی، $Zn>2mgkg^{-1}$) (۲۴/۳ سانتی‌متر) و شاهد ۲ (خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) (۲۷/۲ سانتی‌متر) بطور معنی‌داری سبب افزایش۲۷/۳ و ۱۳/۸ درصدی در صفت طول خوشه شدند (جدول ۴).

Mahmoud Soltani et al. (2023) نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار بود که سبب افزایش ۸/۲ درصد سبب افزایش طول خوشه شدند. این نکته که محلول‌پاشی با روی و آهن کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین در کرت‌های دارای کمبود عناصر پرمصرف می‌تواند سبب افزایش معنی‌دار طول خوشه شده است. اگرچه طول خوشه به‌طور مستقیم در محاسبه عملکرد برنج نقشی ندارد، ولی به عنوان یکی از صفات ارزیابی عملکرد مورد توجه است. معمولاً ارقامی با طول خوشه بلندتر، عملکرد بیشتری دارند. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که طول خوشه یک صفت ژنتیکی است، اما در شرایط اقلیمی و خاکی مختلف بین طول خوشه اختلاف وجود دارد. روی یکی از عناصر مهم در سیستم‌های آنزیمی گیاه است و تنها فلزی است که در ساختمان شش گروه آنزیمی اکسیدازها، ترانسفرازها، هیدرولازها، لیازها، ایزومرازها و لیگازها شرکت دارد. در آنزیم‌هایی مانند سوپر اکسید دیسموتاز، کربونیک آنهیدراز و کاتالاز "روی" با گروه‌های سولفور آمینواسید سیستئین کلات‌شده و ساختار فضایی و فعالیت آنزیم بهبود می‌یابد. به کاربردن آمینوکلات‌های روی علاوه بر افزایش جذب روی شاخساره، با افزایش فعالیت آنزیم‌های حاوی روی، نقش مهمی در بهبود وضعیت تغذیه‌ای روی درگیاه گندم داشته و سبب بهبود خصوصیت رویشی آن شده‌اند (Wang et al. 2020). نظری و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند نشان داد که اثر پیش‌تیمار با محلول حاوی روی بر طول و وزن خوشه برنج معنی‌دار بوده و سبب افزایش ۹/۵ درصدی آن شد. آنها بیان داشتند که به نظر می‌رسد افزایش طول خوشه در اثر پیش‌تیمار بذر ناشی از جوانه‌زنی مطلوب و استقرار مناسب بوته حاصل از بذر تیمار شده می‌باشد. در اثر این امر روند رشد رویشی و به تبع آن رشد زایشی گیاه از جمله طو ل و وزن خوشه بهبود می‌یابد. بکارگیری تکنیک پیش‌تیمار سبب تولید ساقه‌های قوی‌تر و ضخیم‌تر و سیستم ریشه‌ای گسترده می‌شود و نیز برگها به‌صورت عمودی‌تر قرار گرفته که سبب افزایش فتوسنتز می‌شود که در این حالت سبب بهبود خصوصیات خوشه می‌گردد.

صفات مورفولوژیکی

ارتفاع بوته

براساس نتایج تجزیه واریانس، کاربرد تمامی تیمارها به تنهایی شامل پیش‌تیمار بذر، نوع خاک و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد($p\leq0.01$) و اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۵ درصد ($p\leq0.05$) بر ارتفاع بوته تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین اثرات متقابل سه گانه تیمارها نیز نشان داد که تمامی آنها و در تمامی سطوح تیمارها بر ارتفاع بوته رقم هاشمی تاثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نیز نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه (۱۴۶ سانتی‌متر) بود که نسبت به شاهد ۱(۱۲۲/۷) و شاهد ۲ (۱۳۳/۷) به ترتیب ۱۹ و ۱۰ برابر سبب افزایش در ارتفاع بوته شدند. نکته حائز اهمیت این است که با افزایش زمان پیش‌تیمار از ۶ به ۱۲ و ۲۴ ساعت علی‌رغم افزایش میزان عنصر روی در بذر کشت‌شده، ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری با شاهدها نداشته و در پیش‌تیمار ۲۴ ساعت کاهش بین ۲۸ درصدی را در این صفت به ثبت رسانده است. این در حالی است که کاربرد تیمار محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین در پیش‌تیمارهای مذکور توانسته جلوی این کاهش را بگیرد (از ۱۱۳/۷ به ۱۲۳/۳ سانتی‌متر افزایش در ارتفاع بوته در اثر محلول‌پاشی)(جدول ۳).

گزارش شده است که محلول‌پاشی روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم از هرکدام سبب افزایش ۷ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد(Mahmoud Soltani et al., 2023). این تاثیر مثبت در شرایط محلول‌پاشی می‌تواند ناشی از حضور توامان شکل‌های مختلف نیتروژن در ساختار آمینو اسیدها به همراه عناصر کم‌مصرف با حلالیت بهتر و قابلیت جذب بیشتر برای گیاه است. مطالعات نشان داده است که این دو عنصر در کلات‌های آمینواسید می‌تواند سبب بهبود خصوصیات مربوط به برگ و ساقه شود (Souri et al., 2019). محققان اظهار داشتند که افزایش ارتفاع بوته در نتیجه افزایش تقسیم و طویل شدگی سلولی در اثر کاربرد روی می‌باشد (ملکوتی و کاووسی، ۱۳۸۳). علاوه بر آن روی، یکی از فاکتورهای مهم تأثیرگذار در فعالیت آنزیم تریپتوفان سینتتاز است و با توجه به اینکه اسیدآمینه تریپتوفان به عنوان پیش ماده تولید اکسین عمل می‌کند، در نتیجه، با افزایش تولید اکسین و متعاقب آن افزایش رشد طولی ساقه و شاخساره‌ها دور از انتظار نخواهد بود (Alloway, 2008).

نظری و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که کمترین افزایش در ارتفاع بوته در پیش‌تیمار با سولفات‌روی در رقم گوهر مشاهده شد. با توجه به تاثیر تیمار کردن بذر برنج بر سرعت سبز شدن و اثر آن بر بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای به نظر می‌رسد گیاهان حاصل از این تکنیک، عناصر غذایی بیشتری جذب نموده و به تبع آن ارتفاع بالاتری کسب نمودند. طی پژوهشی افزایش ارتفاع گیاه برنج را در اثر پیش‌تیمار با ترکیب اُسمزی گزارش شد. همچنین گزارش شده است پیش‌تیمار با تسریع در تقسیم سلولی باعث افزایش ارتفاع بوته گیاهان می‌شود (Nawaz et al. 2016).

تعداد پنجه کل و بارور

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های تعداد پنجه کل و بارور، کاربرد تمامی تیمارها به تنهایی در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0.01$) بر تعداد پنجه کل و بارور تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین از بین تمامی اثرات متقابل دوگانه و سه گانه محتمل، تنها اثر متقابل دوگانه پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت و نوع خاک در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0.01$) بر تعداد پنجه بارور تأثیر معنی‌دار داشتند این در حالی است که تمامی اثرات متقابل دوگانه بر تعداد کل پنجه تاثیر معنی‌دار داشتند. (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر ساده تیمار محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه نیز نشان داد که محلول‌پاشی به تنهایی سبب افزایش ۶ درصدی هم تعداد پنجه بارور و هم تعداد پنجه کل شدند. مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت (۳۰/۹ سانتی‌متر) بود که این در حالی است که محتوای افزایش در تعداد پنجه کل ناشی از اثر متقابل پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی و نوع خاک در مقایسه با شاهد ۱ (خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) (۲۴/۳ سانتی‌متر) و شاهد ۲ (خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) (۲۷/۲ سانتی‌متر) به ترتیب ۲۴/۸ و ۳ درصدی در صفت تعداد کل پنجه شدند (جدول ۴). در هر دو صفت تعداد کل پنجه و تعداد پنجه بارور با افزایش غلظت محلول پیش‌تیمار شاهد کاهش تعداد پنجه کل و بارور هستیم. مقایسه میانگین اثرات متقابل دو گانه تیمارهای محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه و پیش‌تیمار بذر با محلول حاوی روی ۵ در هزار نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی به میزان ۵۱/۲ عدد بوده که در مقایسه با شاهد عدم مصرف محلول‌پاشی و پیش‌تیمار (۴۱/۳ عدد) بطور معنی‌داری سبب افزایش ۲۳/۸ درصدی در صفت تعداد کل پنجه شدند (جدول ۶).

Mahmoud Soltani et al. (2023) نشان دادند که محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش ۱۱/۱درصدی تعداد کل پنجه و ۱۵/۶درصدی تعداد پنجه بارور شدند. نظری و همکاران (۱۴۰۰ و ۱۴۰۱) نشان دادند که پیش‌تیمار بذر با سولفات‌روی سبب افزایش ۱۰/۵ و ۱۰/۳ درصدی پنجه در بوته به ترتیب هاشمی و گوهر شدند.. افزایش پنجه در بوته به‌وسیله پیش‌تیمار را می‌توان به دلیل سبز شدن بهتر، رشد سریع گیاهچه، استقرار مناسب و در نهایت استفاده مطلوب از عوامل محیطی نور، رطوبت خاک و عناصر غذایی نسبت داد. به‌نظر می‌رسد علت افزایش پنجه¬های بارور به دلیل تحریک رشد اولیه گیاهچه به کمک پیش‌تیمار است. به طوری‌که پیش‌تیمار از طریق تأمین عناصر غذایی ضروری مورد نیاز برای رشد در اوایل فصل رشد می‌تواند موجب سبز شدن سریع گیاهچه و ورود زودتر آن‌ها به مرحله اُتوتروف و در نهایت دستیابی سریع‌تر به سطح سبز مطلوب گردد که در این حالت با افزایش توانایی جذب منابع موجب بهبود ویژگی زایشی از جمله پنجه‌های بارور می‌گردد (Farooq et al., 2012).

محتوای روی در کاه و کلش و دانه برنج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تمامی تیمارها به‌تنهایی شامل پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت، نوع خاک در دو سطح خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$) ($p\leq0.01$) و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0.01$) و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد ($p\leq0.01$) بر محتوای روی در کاه و کلش و دانه برنج تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه تیمارها (جدول ۳) نیز نشان داد که تمامی آنها و در تمامی سطوح تیمارها و اثر متقابل آنها در مقایسه با شاهد ۱ و شاهد ۲ بر محتوای روی در کاه و کلش و دانه برنج رقم هاشمی تاثیر مثبت و معنی‌دار داشتند.

مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نیز نشان داد که بیشترین میزان تاثیر ناشی از کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان یک کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه بود که به ترتیب در محتوای روی در کاه و کلش و دانه برنج نسبت به شاهد ۱و شاهد ۲ به ترتیب ۱/۸ برابر، ۹۹/۲ درصد، ۱/۸ برابر و ۴۶/۵ درصد برابر سبب افزایش داشتند. نکته حائز اهمیت این است که با افزایش زمان پیش‌تیمار از ۶ به ۱۲ و ۲۴ ساعت علی‌رغم افزایش میزان عنصر روی در بذر کشت‌شده، عملکرد اختلاف معنی‌داری با شاهدها نداشته و اگرچه از نظر عددی اندکی بیشتر از شاهدها بودند. این در حالی است که کاربرد تیمار محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسیدآمینه گلایسین در پیش‌تیمارهای مذکور توانسته جلوی این کاهش را بگیرد (جدول ۳).

به‌نظر می‌رسد افزایش غلظت روی دانه در اثر محلول‌پاشی ترکیبات روی ناشی از افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها در طول دوره پر شدن دانه بوده است. به علاوه بیشتر بودن غلظت روی دانه در تیمارهای حاوی روی می‌تواند به بالاتر بودن غلظت محلول روی مرتبط باشد. به اعتقاد پژوهشگران محلول‌پاشی با ترکیبات روی باعث افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در طول دوره پر شدن دانه می‌شود (Rehman et al, 2012). گزارش شده محلول‌پاشی کود روی در مرحله آبستنی و مرحله گرده‌افشانی برنج سبب انتقال بیشتر روی از برگ پرچم به دانه، هم در ژنوتیپ‌های با غلظت روی دانه بالا و هم در ژنوتیپ‌های با محتوای روی پایین شد (وو و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین این یافته‌ها با نتایج Mahmoud Soltani et al. (2023) در یک راستا است. که بیان داشتند با محلول‌پاشی محلول حاوی روی در برنج محتوای روی در کاه و کلش و دانه برنج به‌طور متوسط بیش از ۲۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش خواهد یافت. در مطالعه حاضر، با افزایش غلظت سولفات‌روی، محتوای عنصر روی در گیاه نیز افزایش یافت. به عبارت دیگر، بین میزان فراهمی روی در خاک و غلظت روی جذب‌شده رابطه مثبتی مشاهده شد. افزایش غلظت عنصر روی در دانه برنج در اثر مصرف کود روی نشان‌دهنده توانایی گیاه در قابلیت دسترسی به این عنصر در خاک است که ممکن است به‌واسطه بهبود فعالیت آنزیمی و فرآیندهای متابولیکی گیاه باشد که در نهایت منجر به افزایش جذب روی می‌گردد. در مطالعه‌ای مشخص شد که مصرف ۱۳/۵ کیلوگرم روی در هکتار موجب افزایش غلظت روی در دانه برنج گردید. با افزایش جذب روی توسط گیاهان، روی در همه اندام‌های گیاه تجمع پیدا کرد که در اندام‌های رویشی به‌خصوص در ساقه و غلاف برگ (۴۰۰–۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر از اندام‌های زایشی (در دانه ۵۰–۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (Jiang et al., 2008). گزارش شده است که میزان غلظت روی اندام‌های هوایی در تیمار شاهد برابر ۶۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و با کاربرد سولفات‌روی به میزان ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برابر ۶۴/۳ و ۶۴/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت (Stomph et al., 2011). Nathan et al. (2005) نشان دادند که محلول‌پاشی سولفات‌روی در جبران کمبود عنصر روی و افزایش غلظت روی در دانه و سایر بافت‌های گیاه برنج مؤثر بوده است. بررسی‌ها نشان داده است که مصرف خاکی سولفات‌روی در زمان پنجه‌زنی یا آغاز خوشه‌دهی، موجب افزایش این عنصر در گیاه و دانه شد. به‌طوری 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 قابل‌جذب خاک، بهبود جذب روی توسط گیاه و افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در دوره پر شدن دانه همراه بود (Rehman et al. 2015). Yuan et al. (2013) نشان دادند که محلول‌پاشی آهن، اسیدآمینه نیکوتین آمید و سولفات‌روی به‌تنهایی و در ترکیب با هم سبب افزایش میزان روی در دانه و اندام‌های هوایی برنج ارقام آی آر ۲، جی آر ۱، جی اچ آر۱ و ۲ شده است. این نتایج نشان داد که هرگاه سولفات‌روی به کلات آمینو اسید افزوده شد محتوای غلظت روی در ارقام مختلف بین ۱۸ تا ۴۵ درصد افزایش داشت. Yuan et al. (2013) و Shenker and Chen (2005) علت تاثیر اسیدآمینه در این افزایش را بزرگی مولکولی ترکیبات نمکی آهن و روی و دشواری ورود به برگ دانسته این در حالی است که هرگاه این عناصر به‌صورت کلات با اسیدآمینه در می‌آیند شعاع یونی آنها کوچک شده و در نتیجه مقاومت به نفوذ به داخل برگ برای آنها کاهش می‌یابد. Yamuangmorn et al. (2022)در بررسی تاثیر کاربرد پیش‌تیمار بذر با محلول‌های حاوی روی بر روی و محلول‌پاشی با روی

سه واریته برنج تایلندی (کادی کا، بی‌ال و اس‌پی‌تی‌آی) گزارش نمودند که افزایش میزان روی در دانه هر سه لاین مذکور مشاهده شده و بطور متوسط بین ۱۸ تا ۲۷ درصد نسبت به شاهد بر محتوای عنصر روی در دانه افزوده شده است. آنها نتیجه گرفتند محتوای بالاتر این درصد افزایش مربوط به تاثیر توامان دو روش مصرف (پیش‌تیمار و محلول‌پاشی) است. Twing et al. (2022) نیز در بررسی کاربرد توام پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با محلول‌های حاوی روی نتیجه گرفتند که بیشترین محتوای افزایش روی در دانه به میزان ۳۷/۹ درصد در زمانی رخ داده است که محلول‌پاشی پس از انجام پیش‌تیمار بذر صورت پذیرفته است. این در حالی است که در کاه مقدار افزایش در حدود ۲۴/۴ درصد، برگ‌های برنج ۳۰ درصد و برنج سفید ۳۱/۶ درصد گزارش شده است. به نظر می‌رسد محتوای بالاتر روی در دانه برنج به ذخیره بیشتر این عنصر در بخش بیرونی دانه مرتبط است که البته در زمان سفید شدن از دست می‌رود. این یافته‌ها در راستای نتایج Li et al. (2021) و Twing et al. نیز است. Sadeghizadeh and Zarea (2022) در بررسی تاثیر پیش‌تیمار بذر با عنصر روی بر خصوصیات زراعی و کیفی دو رقم برنج عنبربو و شمشیری بیان داشتند که این روش تأثیر مثبتی بر محتوای روی در دانه هر دو رقم برنج مورد آزمایش داشته و میزان آن را به‌طور متوسط ۱۸ درصد افزایش داد. اگرچه میزان افزایش (۲۰ درصد) در رقم عنبر بو (۲۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) نسبت به شمشیری (۱۸/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر بود.

همبستگی صفات اندازه‌گیری شده

بررسی ضرایب همبستگی صفات و تعیین ارتباط معنی‌داری آن‌ها، برای گزینش غیرمستقیم ویژگی‌های موثر بر عملکرد و نیز حذف صفات غیرمؤثر انجام می‌گیرد (Perween et al., 2020). نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد دانه دارای رابطه مثبت و معنی‌دار با عملکرد کاه و کلش، عملکرد زیست‌توده، وزن هزاردانه، تعداد دانه پر، عرض برگ پرچم، طول برگ پرچم، مساحت برگ پرچم، طول خوشه، تعداد پنجه بارور، تعداد پنجه کل و ارتفاع بوته است. همچنین رابطه منفی و معنی‌دار بین عملکرد و تعداد دانه پوک مشاهده شد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تمامی صفت مورفولوژیکی، عملکردی و اجزای عملکردی به‌استثنای تعداد دانه پوک با محتوای روی کاه و کلش و محتوای روی دانه گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند (جدول ۷).

جدول ۷: ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده رقم هاشمی (n=48)

	صفات اندازه‌گیری شده																
	GY	SY	BY	HI	TGW	FG	UFG	FLW	FLL	FLS	PL	FTN	TTN	PH	ZnS	ZnG
GY	۱	۰/۷۳**	۰/۹۲**	۰/۵۳**	۰/۷۵**	۰/۸۹**	-۳۷۰**	۰/۶۵**	۵۱**۰/	۰/۷۱**	۰/۷۶**	۰/۷۲**	۰/۶۶**	۰/۸۳**	۰/۸۲**	۰/۸۷**
SY		۱	۰/۹۴**	-۰/۱۹	۰/۷۴**	۰/۷۷**	-۰/۲۵	۰/۷۵**	۰/۶۷**	۰/۸۳**	۰/۷۸**	۰/۸۴**	۰/۷۸**	۰/۷۸**	۰/۷۷**	۰/۸۱**
BY			۱	۰/۱۶	۰/۷۸**	۰/۸۹**	-۳۳۰**	۰/۷۷**	۰/۶۴**	۰/۸۳**	۰/۸۲**	۰/۸۴**	۰/۷۸**	۰/۸۶**	۰/۸۵**	۰/۹۰**
HI				۱	۰/۱۷	۰/۳۵*	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۱۳	-۰/۰۰۳	-۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۶
TGW					۱	۰/۷۷**	-۰/۱۳	۰/۵۹**	۰/۶۲**	۰/۷۰**	۰/۷۳**	۰/۷۰**	۰/۷۸**	۰/۶۴**	۰/۶۷**	۰/۷۸**
FG						۱	-۰/۲۸	۰/۷۵**	۰/۵۱**	۰/۷۶**	۰/۷۷**	۰/۷۸**	۰/۶۹**	۰/۸۹**	۰/۸۴**	۰/۹۴**
UFG							۱	-۳۸۰**	-۰/۳۶**	-۰/۴۰**	-۰/۳۲*	-۰/۱۳	-۰/۱۵	-۰/۳۵**	-۰/۳۱*	-۰/۲۷
FLW								۱	۰/۴۹**	۰/۹۳**	۰/۷۰**	۰/۷۲**	۰/۶۸**	۰/۷۳**	۰/۷۰**	۰/۷۶**
FLL									۱	۰/۷۶**	۰/۵۳**	۰/۵۳**	۰/۶۹**	۰/۵۲**	۰/۳۳**	۰/۴۹**
FLS										۱	۰/۷۵**	۰/۷۵**	۰/۷۹**	۰/۷۶**	۰/۶۶**	۰/۷۷**
PL											۱	۰/۷۳**	۰/۶۸**	۰/۷۵**	۷۹**۰/	۰/۷۸**
FTN												۱	۰/۸۵**	۰/۷۵**	۰/۷۱**	۰/۷۹**
TTN													۱	۰/۶۴**	۰/۵۶**	۰/۷۱**
PH														۱	۰/۸۰**	۰/۹۰**
ZnS															۱	۰/۸۷**
ZnG																۱

GY، SY، BY، HI، TGW، FG، UFG، FLW، FLL، FLS، PL، FTN، TTN، PH، ZnS و ZnG به ترتیب عبارتند از عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش، عملکرد زیست‌توده، وزن هزاردانه، تعداد دانه پر، تعداد دانه پوک، عرض برگ پرچم، طول برگ پرچم، مساحت برگ پرچم، طول خوشه، تعداد پنجه بارور، تعداد پنجه کل، ارتفاع بوته، محتوای روی کاه و کلش و محتوای روی دانه؛ ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد است.

منتظری و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان دادند که صفت‌های وزن صددانه و تعداد پنجه‌بارور در بوته بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد دانه داشتند. در فرآیندهای حیاتی در طول دوره رشد و نمو گیاه برنج هر یک از اجزای عملکرد مستقل از یکدیگر نیستند و افزایش هر جزء موجب کاهش در دیگر اجزای عملکرد می‌شود یعنی در یک عملکرد مناسب باید تمامی اجزای عملکرد موازنه مناسبی نسبت به هم داشته باشند. دلایل زیادی برای همبستگی صفات عملکردی با مقدار روی در کاه و کلش و دانه وجود دارد. از جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین، افزایش آنزیم کربونیک انهیدراز که در همه 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 اشاره نمود (محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰).

نتیجه‌گیری

امروزه علی‌رغم پیشرفت‌های حاصل‌شده در تکنولوژی و مدیریت زراعی، کماکان بذر، جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه‌های حاصل از آن دارای اهمیت کلیدی است. از طرف دیگر با توجه به افزایش روزافزون قیمت کودهای شیمیایی در بازار محتوای بالای عنصر روی در بذور می‌تواند همانند یک کوددهی اولیه کافی عمل کرده و محرک خوبی برای دستیابی به عملکرد بالای محصولات کشاورزی باشد. بنابراین روش‌های نوین کاربرد کود مبتنی بر تماس بیشتر و محتوای کمتر، می‌تواند منجر به جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه‌های حاصل و در نتیجه عملکرد بیشتر شود. پیش‌تیمار بذر با عناصر کم‌مصرف و محلول‌پاشی با عنصر روی، پتانسیلی برای به‌کارگیری عناصر کم‌مصرف جهت برطرف کردن نیاز گیاهان زراعی دارد و باعث بهبود سبزشدن گیاهچه، استقرار گیاه، عملکرد و غنی‌سازی دانه با عناصر کم‌مصرف می‌شود. نتایج این آزمایش نشان داد که علی‌رغم اینکه روش پیش‌تیمار بذور برنج با محلول حاوی عنصر روی بسیار ساده، سریع و ارزان می‌باشد ولی اثرات موثری در افزایش میزان عنصر روی در بذر (تا بیش از ۱۷ برابر در مقایسه با شاهد) دارد. کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه سبب افزایش چشمگیر بیش از ۳۰ تا ۵۰ درصد در عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش شدند. محتوای روی در کاه و کلش و دانه برنج نیز با همین ترکیب تیماری تا دو برابر افزایش داشتند.

با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد تیمار ترکیبی پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات‌روی به مدت ۶ ساعت و محلول‌پاشی با روی کلات‌شده با اسید آمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار و با غلظت ۵ در هزار در مراحل حداکثر پنجه‌زنی، آبستنی و آغاز رسیدن دانه می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های موثر مصرف عنصر کم‌مصرف روی در کنار سایر روش‌های مصرف کودهای کم‌مصرف حاوی عنصر روی برای تولید گیاهچه قوی در مزرعه و شرایط کشاورز و با ارقام بیشتر نیز مورد پژوهش بیشتر قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

اخگری حسن، اصفهانی مسعود، محسن‌آبادی غلامرضا، اعلمی علی. (۱۳۹۶). اثر پیش‌تیمار بذر بر شاخص‌های خوابیدگی بوته دو رقم برنج (*Oryza sativa* L.) در روش کشت مستقیم . *تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*. ۷ (۳) :۱۲۹-۱۴۳. (اخگری و همکاران، ۱۳۹۶).

دادرسی، ولی ا.... و ابوطالبیان، محمدعلی. (۱۳۹۴). بررسی تاثیر پرایمینگ بذر بر روی صفات مورفولوژیکی، پروتئین دانه و کارایی مصرف آب دو هیبرید ذرت میان‌رس در شرایط مزرعه. *پژوهش‌های کاربردی زراعی (پژوهش و سازندگی)*. ۲۸ (۱۰۷) :۸۲-۹۰ . (دادارسی و ابوطالبیان، ۱۳۹۴).

رمضانی، احمد.، صلحی، محمود، و رضایی، مصلح الدین. (۱۳۹۷). اثر محلول‌پاشی کود روی بر عملکرد دانه و محتوی روی دانه برنج رقم سازندگی. *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*. ۱۶ (۱) : ۱۲۵-۱۳۶. (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۷).

عباس¬دخت، حمید. و عارف بیکی، محمد. (۱۳۹۴). تأثیر هیدروپیش‌تیمار ، تقسیط کود نیتروژن و عمق کاشت بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه هیبرید دابل کراس ۳۷۰ ذرت در منطقه خشک. *نشریه پژوهش¬های تولید گیاهی*. ۲۲(۱): ۱۷۲-۱۴۹. (عباس دخت و عارف بیگی، ۱۳۹۴).

محمود سلطانی، شهرام. ۱۳۹۷. کمبود روی، علل، علائم و راه‌حل‌ها. نشریه فنی. *موسسه تحقیقات برنج کشور*. ۳۱ صفحه. (محمود سلطانی، ۱۳۹۷).

محمود سلطانی، شهرام. ۱۳۹۹. تاثیر محلولپاشی روی و فسفر بر پویایی و غنی‌سازی زیستی آنها و میزان پروتئین دانه دو رقم برنج هاشمی و گیلانه. *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۸ (۵۱) :۲۰۵۸-۲۰۶۳. (محمود سلطانی، ۱۳۹۷).

محمود سلطانی، شهرام.، اله قلی پور، مهرداد. ، شکوری، مریم. و پورصقرطبالوندی، علی. (۱۳۹۹). تأثیر کاربرد پایه و محلول‌پاشی کود سولفات‌روی بر جذب روی ، عملکرد و اجزاء عملکرد برنج رقم هاشمی. *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۳ (۵۱) :۱۰۱۳-۱۰۲۶. (محمود سلطانی و همکاران، ۱۳۹۹).

محمود سلطانی، شهرام.، کربلایی آقا ملکی، محمد. تقی.، اله قلی پور، مهرزاد.، کاووسی، مسعود.، شهدی کومله، عباس. (۱۳۹۹). بهبود کمی و کیفی دانه برنج در اراضی شالیزار با راهکارهای مدیریت عناصرفسفرو روی. گزارش نهایی. *موسسه تحقیقات برنج کشور*.۱۰۳ صفحه. (محمود سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷).

محمود سلطانی، شهرام.، کاووسی، مسعود.، شکری واحد، حسن.، رضوی پور، تیمور.، بابازاده، شهریار.، شکوری کتیگری، مریم.، محمدیان، محمد. ۱۴۰۰. تغذیه برنج. *موسسه تحقیقات برنج کشور. انتشارات راز نهان*. تهران. ایران.۱۵۶ ص. (محمود سلطانی و همکاران، ۱۴۰۰).

ملکوتی، محمد. جعفر. و کاووسی، مسعود. (۱۳۸۳). تغذیه متعادل برنج. *وزرات جهاد کشاورزی. معاونت زراعت. انتشارات سنا*. ۶۱۱ ص. (ملکوتی و کاووسی، ۱۳۸۳).

منازی فرد، مهدی.، سپهری، علی. (۱۳۹۱). اثر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم پاییزه. *ویژه نامه نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*. ۲۲ (۴/۱) : ۱۶۵-۱۵۱. (منازی و سپهری، ۱۳۹۱).

منتظری، رحمت.،مرادخانی، مجید.، سام دلیری، مرتضی و موسوی، سید امیر عباس. ۱۳۹۶. بررسی همبستگی صفات مورفولوژیکی لاینهای جدید برنج در غرب مازندران. ژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی.(۲۲)۹، ۱۹۱-۱۹۹.(منتظری و همکاران، ۱۳۹۶)

نظری، شهرام؛ حسینی چالشتری، مریم و اله قلی پور، مهرداد (۱۴۰۰). اثر پیش‌تیمار و پوششدار کردن بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم برنج. نشریه پژوهشهای زراعی ایران، (۳)۹، ۲۹۸-۲۸۷. (نظری و همکاران، ۱۴۰۰).

نظری، شهرام؛ حسینی چالشتری، مریم و اله قلی پور، مهرداد (۱۴۰۱) . بررسی تأثیر پرایمینگ و پوشش‌دار کردن بذر بر بهبود خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم برنج. گزارش نهایی پروژه پژوهشی. موسسه تحقیقات برنج کشور. ۵۰ ص. (نظری و همکاران، ۱۴۰۱).

REFERENCES

Abbas Dokht, H. and Arefbeyki, M. (2015). The effects of hydropriming, planting depth and nitrogen split application on grain yield and it's components of 370 double cross hybrid corn in arid zone. *Journal of Plant Production Research*, 22(1), pp.149-172. (In Persian).

Aboutalebian, M.A., Ekbatani, G.Z. & Sepehri, A. (2012). Effects of on-farm seed priming with zinc sulfate and urea solutions on emergence properties, yield and yield components of three rainfed wheat cultivars. *Annals of Biological Research*, 3(10), pp.4790-4796.

Akhgari, H., Esfahani, M., Mohsenabadi, G., & Aalami, A. (2017). Evaluating the effect of seed priming on growth and yield of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in direct seeding method. *Cereal Research*, 7(3), 315-329. (In Persian).

Alloway, B.J., 2008. *Zinc in soils and crop nutrition (2nd eds.)*. Brussels/Paris: International Zinc Association/International Fertilizer Industry Organization.

Bates, R. G., & Vijh, A. K. (1973). Determination of pH: theory and practice. *Journal of The Electrochemical Society*, 120(8), 263C-263C.

Bower, C. A., Reitemeier, R. F., & Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, 73(4), 251-262.

Bremner, J. M. (1965). *Total nitrogen. Methods of Soil Analysis*: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9, 1149-1178.

Byerlee, D., Stevenson, J. & Villoria, N. (2014). Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation?. *Global food security*, 3(2), pp.92-98.

Dadrasi, V.A. & Aboutalebian, M.A. (2015). Effect of seed priming on morphological traits, seed protein and water use efficiency of two mid maturing maize hybrids in farm conditions. *Applied Field Crops Research*, 28(107), pp.82-90. (In Persian).

Dobermann, A. & Fairhurst, T.H. (2000). *Nutrient disorders and nutrient management*. Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada and International Rice Research Institute, Singapore.

FAO., (2022). Agriculture Organization, *How to Feed the World in 2050*. In Proceedings of the Expert Meeting on How to Feed the World in (Vol. 2050)

Farooq, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. (2012). Micronutrient application through seed treatments: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 12(1), 125-142.

Gee, G. W., & Bauder, J. W. 1986. *Particle-size analysis. Methods of soil analysis*: Part 1 Physical and Mineralogical Methods, 5, 383-411.

Ghasemi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Afyuni, M. & Hadadzadeh, H. (2014). Iron (II)–amino acid chelates

alleviate salt-stress induced oxidative damages on tomato grown in nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae,* 165, pp.91-98.

Itroutwar, P.D., Govindaraju, K., Tamilselvan, S., Kannan, M., Raja, K. & Subramanian, K.S. (2020). Seaweed-based biogenic ZnO nanoparticles for improving agro-morphological characteristics of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Growth Regulation,* 39, pp.717-728.

Jiang, W., Struik, P.C., Van Keulen, H., Zhao, M., Jin, L.N. & Stomph, T.J. (2008). Does increased zinc uptake enhance grain zinc mass concentration in rice?. *Annals of Applied Biology,* 153(1), pp.135-147.

Li, Y., Liang, L., Li, W., Ashraf, U., Ma, L., Tang, X., Pan, S., Tian, H. & Mo, Z. (2021). ZnO nanoparticle-based seed priming modulates early growth and enhances physio-biochemical and metabolic profiles of fragrant rice against cadmium toxicity. *Journal of Nanobiotechnology,* 19, pp.1-19.

Lindsay, W.L. & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal,* 42(3), pp.421-428.

Mahmoud Soltani S, Mohamed, M.H., Samsuri, A., Syed, M. & 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. (In Persian).

Mahmoud Soltani, S. & Poorsafar Tabalvandi, A. (2021). *Nutripriming with micronutrients. Growth Improvement and grain biofortification*. Technical bultein. Rice Research Institute of Iran. 46 Pp. (In Persian).

Mahmoud Soltani, S. (2020). Zn biofortification, grain protein content, and zinc and phosphorus content of rice tissues at different growth stages affected by zinc and phosphorus foliar application. *Iranian Journal of Soil and Water Research,*51(8), pp.2065-2083. (In Persian).

Mahmoud Soltani, S., Hanafi, M.M., Samsuri, A.W., Muhammed, S.K.S. & 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.

Mahmoud Soltani, S., Hossieni Chaleshtori, M., Tajaddodi Talab, K., Shokri Vahed, H. & Shakoori Katigari, M. (2023). Rice growth improvement, bio-fortification, and mitigation of macronutrient requirements through foliar application of zinc and iron-glycine chelate and zinc sulfate. *Journal of Plant Nutrition,* 46(8), pp.1777-1786.

Mahmoud Soltani, S., Mohamed, M.H., Abdul, W.S. & 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.

Mahmoud Soltani, Sh., Kavoosi, M., Shokri Valed, H., Razavi, T., Babazadeh, Sh., Shakouri Katigari, M. & Mohamadian, M. (2021). *Rice Nutrition*. Rice Research Institute of Iran publication. 156 p. (In Persian).

Mahmoud Soltani, S. (2020). Effect of Foliar Application of Zinc and Phosphorous on Their Dynamic, Biofortification, and on Grain Protein Content of Two Rice Cultivars (Hashemi and Guilaneh). *Iranian Journal of Soil and Water Research,* 51(8), pp.2065-2083. (In Persian).

Mahmoud Soltani, S., Allahgholipoor, M., Shakouri Katigari, M. & Poursafar Tabalvandani, A. (2020). 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 Research,* 51(4), pp.1013-1026. (In Persian).

Mahmoud Soltani, S., Karbalai Agha Maleki, M.T., Kavoosi, M. & Shadi Kumleh, A. (2020). *Quantitative and qualitative improvement of rice grain in paddy field through phosphorous and zinc management strategies*. Final report of rice research institute of Iran. 103 p. (In Persian).

Malakooti, M.J. & Kavoosi, M. (2004). *Balanced Rice Nutrition.* Sena Publication. Agricultural Minestry of Iran. 671 P. (In Persian).

Manarifard, M., & Sepehri, A. (2012). Effect of seed priming and foliar application of zinc on yield and yield components of two wheat cultivars. *Agricultural science and sustainable production,* 152-165. (In Persian).

Montazeri, R., Moradkhani, M., Sam-daliri, M. and Mosavi, A.B. (2017). Correlation between morphological new genotype of rice in the west Mazandaran. *Journal of Crop Breeding, 9*(22), pp.191-199. (In Persian).

Mazhar, M.W., Ishtiaq, M., Maqbool, M. & Akram, R. (2022). Seed priming with Calcium oxide nanoparticles improves germination, biomass, antioxidant defence and yield traits of canola plants under drought stress. *South African Journal of Botany,* 151, pp.889-899.

Nawaz, A., Farooq, M., Ahmad, R., Basra, S. M. A., & Lal, R. (2016). Seed priming improves stand establishment and productivity of no till wheat grown after direct seeded aerobic and transplanted flooded rice. *European Journal of Agronomy,* 76, 130-137.

Nazari, S., Chaleshtori, M. H., & Allahgholipour, M. (2021). Effect of seed priming and encrusting coating on yield and yield components of two rice cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(3). (In Persian).

Nazari, S., Chaleshtori, M. H., & Allahgholipour, M. (2021). Effect of Seed Priming and Encrusting Coating on Yield and Yield Components of Two Rice Cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(3). (In Persian).

Nie, L., Liu, H., Zhang, L., & Wang, W. (2020). Enhancement in rice seed germination via improved respiratory metabolism under chilling stress. *Food and Energy Security*, 9(4): 1-13.

Olsen, S.R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.

Perween, S., Kumar, A., Prasad, B.D. and Choudhary, M. (2020). Assessment of genetic diversity in rice (Oryza sativa L.) under irrigated and drought stress condition. *Current Journal of Applied Science and Technology*, *39*(1), pp.112-125.

PRB (Population Reference Bureau). (2020). *The 2020 World population data sheet*. [2023-01-01]. https://interactives.prb.org/2021-wpds/. "World Population Prospects 2022, Standard Projections, Compact File, Estimates tab, Total Population as of 1 January (thousands) column". United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2022.

Ramezani, A., Solhi, M. & Rezaei, M. (2018). Effects of foliar application of zinc fertilizer on grain yield and zinc content of rice grain cv. Sazandegi. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(1), 125-136. (In Persian).

Rehman, H., Kamran, M., Basra, S.M.A., Afzal, I. & Farooq, M. (2015). Influence of seed priming on performance and water productivity of direct seeded rice in alternating wetting and drying. *Rice Science*, 22(4), pp.189-196.

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

Roades, J. D. (1982). *Soluble salts*. P 167-178. Methods of soil analysis. Part, 2.

Sadeghizadeh, M., & Zarea, M. J. (2022). Effects of seed priming with zinc on germination, nursery seedling growth and paddy fields yield of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 25(3), 313-324.

Shenker, M. & Chen, Y. (2005). Increasing iron availability to crops: fertilizers, organo-fertilizers, and biological approaches. *Soil Science & Plant Nutrition*, 51(1), pp.1-17.

Slaton, N.A., Gbur, E.E., Wilson, C.E. & 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.

Souri, M.K. & Hatamian, M. (2019). Aminochelates in plant nutrition: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 42(1), pp.67-78.

Souri, M.K., Hatamian, M. and Tesfamariam, T., 2019. Plant growth stage influences heavy metal accumulation in leafy vegetables of garden cress and sweet basil. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 6(1), pp.1-7.

Stomph, T.J., Hoebe, N., Spaans, E. & 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).

Thomas, G.W., 1982. Exchangeable cations. Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties, 9, pp.159-165.

Tonini, A. & Cabrera, E., 2011. Opportunities for global rice research in a changing world.

Tuiwong, P., Lordkaew, S., Veeradittakit, J., Jamjod, S., & Prom-u-thai, C. (2022). Seed priming and foliar application with nitrogen and zinc improve seedling growth, yield, and zinc accumulation in rice. *Agriculture*, 12(2), 144.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.

Wang, M., Kong, F., Liu, R., Fan, Q. & Zhang, X. (2020). Zinc in wheat grain, processing, and food. *Frontiers in nutrition*, 7, p.124.

Yamuangmorn, S., Jumrus, S. & Jamjod, S. (2022). Promoting seedling vigor and grain zinc accumulation in rice by priming seeds and foliar application with zinc and potassium fertilizer. *Crop and Pasture Science*, 73(5), pp.437-448.

Yuan, L., Wu, L., Yang, C. & Lv, Q. (2013). Effects of iron and zinc foliar applications on rice plants and their grain accumulation and grain nutritional quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), pp.254-261.