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

Effect of Seed Priming with Zinc on Seed Germination Characteristics, and Morphological Characters, and Mineral Content of Rice Tissues of Hashemi Rice Cultivar

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

1. Coressponding 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: March. 20, 2023

Revised: June. 27, 2023

Accepted: July. 1, 2023

Published online: July. 23, 2023

Keywords:
Rice Seeds,
Local Variety,
Maximum Germination,
Micronutrients,
Macronutrients.

ABSTRACT

Nutripriming of rice seeds with micronutrient (Zn) is considered to have the potential of optimizing Zn application, faster germination, uniform seedlings' growth, better establishment of transplanted rice seedlings. The current experiments were designed and conducted to explore the effects of rice seeds nutripriming of with micronutrient (Zn) on macro and micronutrient content of primed seeds, morphological characteristics of rice seedlings and uptake of macro and micronutrients (N, P, K, Zn) for Hashemi rice cultivar through two laboratory and open-air pot experiments during 2021 at rice research institute of Iran. The highest increase in seed germination vigor index (2.9 times) ad reduction in germination dynamics or three germination fractions (t 10, t 50, and t 90) compared to control were recorded at nutripriming with zinc sulfate (5g. L^{-1}) for 12 hours by about 2.28, 2.49, and 2.47 times, respectively. The maximum increase in Zn content of rice seeds (17.5 times) were observed at nutripriming with zinc sulfate (5g.L^{-1}) for 24 hours compared to the control. Also, the highest positive, significant increase in the length of coleoptile and radicle by seed nutripriming with zinc sulfate (5g.L^{-1}) for 6 hours compared to the control by about 25.87 and 18.67%, respectively. The maximum significant and positive increase in root wet and dry weight of rice seedlings were found at about 24.36, 20.00, 38.23, and 38% compared to the control through nutripriming of seeds with zinc sulfate (5g.L^{-1}) for 6 hours in soils with Zn deficiency and sufficiency, respectively. The highest significant and effect on Zn content of shoot and root of rice seedlings were observed about 2.71, 2.91, 2.27, and 2.51 compared to the control through nutripriming of seeds with zinc sulfate (5g.L^{-1}) for 6 hours in soils with Zn deficiency and sufficiency, respectively. Nutripriming of rice seeds with zinc sulfate (5g.L^{-1}) solution for 6 hours could be an alternative solution for traditional methods of macro and micronutrients application (soil and foliar) by farmers in seed nursery.

Cite this article: Mahmoud Soltani, Sh., Hosseini Chaleshtori, M., Nazari, Sh., & Shakouri Katigari, M., (2-23) Effect of Seed Priming with Zinc on Seed Germination Characteristics and Morphological Characters and Mineral Content of rice tissues of Hashemi Rice Cultivar, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (5), 895-914. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356947.669473

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356947.669473

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۶ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تأثیر پیش تیمار بذر با عنصر روی بر خصوصیات جوانه‌زنی و مورفولوژیکی و میزان عناصر در بخش‌های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی

شهرام محمود سلطانی[1*]، مریم حسینی چالشتری[2]، شهرام نظری[3]، مریم شکوری کتیگری[4]

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: ۱۴۰۱/۱۲/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۴/۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۵/۱

واژه‌های کلیدی:
بذر برنج،
حداکثر جوانه‌زنی،
سولفات روی،
عناصر کم‌مصرف،
عناصر پرمصرف.

چکیده

پیش تیمار با محلول حاوی عناصر غذایی مانند روی سبب جوانه‌زنی سریع و سبز شدن یکنواخت و استقرار موفقیت‌آمیز گیاه زراعی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش محیطی می‌شود. بدین منظور آزمایش حاضر به منظور بررسی تأثیر پیش تیمار بذر با عنصر روی بر تغییرات عناصر پرمصرف و کم‌مصرف دورن بذر، خصوصیات مورفولوژیکی نشا و جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف توسط گیاهچه برنج رقم هاشمی طراحی و اجرا شد. آزمایش حاضر در قالب دو آزمایش آزمایشگاهی و یک آزمایش گلدانی در هوای آزاد در طی سال زراعی ۱۴۰۰ در موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت اجرا شد. آزمایش آزمایشگاهی اول و دوم در قالب طرح کاملاً تصادفی با عامل آزمایشی پیش تیمار بذر با سولفات روی در چهار سطح شامل بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی یا شاهد، پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت، پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۱۲ ساعت و پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت در سه تکرار اجرا شد. در آزمایش گلدانی علاوه بر عامل آزمایشی دو آزمایش اول، نوع خاک در دو سطح (خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$)) و محلول پاشی با روی کلات شده با اسیدآمینه گلایسین در دو سطح (بدون محلول پاشی و محلول پاشی با کود روی کلات شده با اسید آمینه گلایسین به میزان ۱ کیلوگرم در هکتار در (حداکثر پنجه‌زنی، آبستی و آغاز رسیدن دانه). بیشترین میزان افزایش در سرعت جوانه‌زنی (۲۹۰ درصد) و کاهش در زمان رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (به ترتیب ۲/۲۸، ۲/۴۹ و ۲/۴۷ برابر) نسبت به شاهد ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۱۲ ساعت و بیشترین مقدار افزایش در عنصر روی در بذر برنج رقم هاشمی (۱۷/۵ برابر) نسبت به شاهد نیز ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت بود. بیشترین میزان تأثیر مثبت و افزایشی در طول ساقه‌چه و ریشه‌چه ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت بود که نسبت به شاهد به ترتیب سبب افزایش حدود ۲۶ و ۱۹ درصدی این صفات شدند. هچنین بیشترین میزان تأثیر بر مقدار عنصر روی در اندام هوایی و ریشه گیاهچه برنج ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت بود که نسبت خاک بدون کمبود روی به ترتیب ۲۷۱ و ۲۹۱ درصد و نسبت به خاک با کمبود روی به ترتیب ۲۲۷ و ۲۵۱ درصد افزایش داشتند. با توجه به نتایج این پژوهش، پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت شش ساعت می تواند به‌عنوان یکی از روش‌های موثر مصرف عناصر کم مصرف در کنار سایر روش‌های مصرف کودهای کم مصرف برای تولید گیاهچه قوی توسط کشاورزان شالیکار مورد استفاده قرارگیرد.

استناد: محمود سلطانی؛ شهرام، حسینی چالشتری؛ مریم، نظری؛ شهرام، شکوری کتیگری؛ مریم، (۱۴۰۲) تأثیر پیش تیمار بذر با عنصر روی بر خصوصیات جوانه‌زنی و مورفولوژیکی و میزان عناصر در بخش‌های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۵)، ۹۱۴-۸۹۵.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356947.669473

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356947.669473

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) با سطح زیر کشت بیش از ۱۶۱ میلیون هکتار و مقدار تولید ۷۸۰ میلیون تن در جهان، با تامین ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز روزانه یکی از مهمترین منابع غذایی بیش از نیمی از جمعیت جهان است (Depar *et al.*, 2011; FAO, 2020). براساس پیش‌بینی‌ها نیاز به برنج طی سال‌های ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ به‌ترتیب حدود ۲۶ و ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (IRRI, 2020). در بسیاری از کشورهای تولید کننده برنج تقریباً ۹۰ درصد از برنج تولید شده، برای مصرف داخلی است، بنابراین بروز هرگونه مشکلی که عملکرد برنج را کاهش دهد، منجر به کاهش خوداتکایی داخلی و عدم دسترسی امن به این منبع غذایی در کشورهای وارد کننده می‌شود (Sarkar *et al.*, 2019). این درحالی است که در حال حاضر تولید برنج حتی در نواحی با شرایط اقلیمی مناسب و آب آبیاری مطمئن نیز در آستانه کاهش تولید می–باشد (Brown *et al.*, 2018). با توجه به روند افزایش تبدیل اراضی شالیزاری برای سایر مصارف غیر مولد از یک طرف و نبود امکان افزایش سطح اراضی شالیزاری از طرف دیگر چشم‌اندازی برای افزایش تولید از مسیر افزایش سطح زیر کشت متصور نبوده و بنابراین افزایش در واحد سطح تولید برنج به روش‌های نوین به‌زراعی مبتنی بر تغذیه مناسب و متعادل گیاه یکی از مهمترین راهبردهای سریع، ارزان و موثر است که می‌تواند به طور پایدار بر بحران کمبود مواد غذایی ناشی از روند رو به افزایش جمعیت بشر غلبه کند (Von Grebmer *et al.*, 2017; Veena and Pathur, 2021). توجه به این موضوع در کشور ایران به علت شرایط حاد کمبود روی در اراضی قابل کشت آن (ملکوتی و کاووسی، ۱۳۸۳)، از جایگاه ویژه تری برخوردار می‌شود.

در ایران، با داشتن خاک‌های آهکی، کاهش روزافزون مواد آلی خاک‌ها، حلالیت کم عناصر کم‌مصرف در واکنش‌خاک خنثی و بالاتر (در خاک‌های شالیزاری افزایش واکنش خاک در اثر غرقابی طولانی مدت خاک رخ می‌دهد)، وجود یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب آبیاری و مصرف بالای فسفر، کمبود عنصر غذایی کم‌مصرف روی در اغلب مزارع عمومیت دارد (Mahmoud Soltani, 2017). علاوه بر این آمارها نشان می‌دهد درحالی‌که در کشورهای پیشرفته میزان مصرف عناصر کم‌مصرف حدود ۳ درصد مصرف کل کودهای مصرفی را به خود اختصاص داده است این مقدار در کشور ما ناچیز و برای هر تن در حدود ۲ گرم می‌باشد. مصرف ناچیز عناصر کم مصرف، در کنار مصرف نامتعادل کودهای پرمصرف می‌تواند بر شدت تأثیر منفی کمبود عناصر کم مصرف در کشور بی‌افزاید(Mahmoud Soltani and Poorsafar, 2021).

روی (Zn) مهمترین عنصر کم‌مصرف می‌باشد که کمبود آن گسترده‌ترین و جدی‌ترین اختلال تغذیه‌ای در اراضی شالیزاری جهان می‌باشد (Wissuwa *et al.*, 2006). کمبود عنصر روی پس از کمبود نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیشترین تأثیر منفی را بر رشد و نمو و عملکرد گیاه برنج دارد (ملکوتی و کاووسی، ۱۳۸۳). روی در تعداد زیادی از فرایندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه و فرآیندهای سوخت و ساز آن از جمله فعال‌سازی ۳۰۰ آنزیم، سنتز پروتئین، متابولیسم‌های درگیر در تولید کربوهیدرات ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم باروری (تشکیل گرده) دخالت دارد. با این حال علائم چندگانه ی کمبود عنصر روی حدوداً ۱۵ روز پس از انتقال گیاهچه برنج به شالیزار اصلی بروز کرده و قابل دیدن است. بروز این علائم در صورت عدم کنترل و رفع آن، در نهایت منجر به تاخیر در بلوغ و رسیدن برنج شده و کاهش عملکردی بین ۲۰ تا ۸۰ درصد را باعث می‌شود (Mahmoud Soltani, 2020). این موضوع توجه جدی به تولید بذور و گیاهچه برنج با ذخیره کافی این عنصر را برای سپری کردن این دوره موسوم به گرسنگی پنهان را دوباره به مرکز توجه پژوهشگران و کشاورزان باز می‌گرداند. امروزه علی‌رغم پیشرفت‌های حاصل شده در تکنولوژی و مدیریت زراعی، کماکان بذر، جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه‌های حاصل از آن دارای اهمیت کلیدی است (Nazari *et al.*, 2021).

جوانه‌زنی سریع و سبز شدن یکنواخت برای استقرار موفقیت‌آمیز گیاه زراعی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش محیطی ضروری است. تسریع و همزمانی فرآیندهای جوانه‌زنی، پیش‌نیاز استقرار یک پوشش گیاهی یکنواخت، استفاده کارآمد از منابع و بهبود مدیریت زراعی و در نتیجه افزایش عملکرد است. جوانه‌زنی بذر مرحله پیچیده و پویایی از رشد گیاه می‌باشد و از طریق اثراتی که روی استقرار گیاهچه دارد می‌تواند عملکرد را بهبود بخشد (Ashraf and Foolad, 2005). استقرار سریع گیاهچه موجب افزایش توان گیاه برای مقابله با شرایط نامساعد محیطی و مشکلات ناشی از آفات و بیماری‌ها می‌شود (Harris et al., 2007). همان طور که درک ما از فرآیندهای مربوط به جوانه‌زنی گسترش یافته است، روش‌هایی برای تغییر این فرآیندها برای تولید بذر در کشاورزی به وجود آمده است. از این‌رو لزوم رسیدن به راهکارهای مناسب جهت افزایش کارایی گیاه و استقرار مناسب گیاهچه‌ها جهت پایداری بیشتر در خاک بیش از پیش لازم به نظر می‌رسد. از متداول‌ترین روش‌های کم‌هزینه و کاربردی جهت غلبه بر این تنش، پیش تیمار بذرها قبل از کشت یا پرایمینگ بذر آنها است. با کاربرد این روش بذرها پیش از قرارگرفتن در بستر خود و مواجهه با شرایط اکولوژیکی محیط، به لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

آمادگی بهتری برای جوانه‌زنی پیدا می‌کنند. استفاده از تکنیک تیمار کردن بذر با عناصر کم‌مصرف می‌تواند یکی از روش‌های مؤثر در افزایش کیفیت بذر و ارتقای درصد استقرار گیاهچه برنج در زمین اصلی باشد (Imran *et al.*, 2013).

تیمار کردن بذر با عناصر کم‌مصرف، پتانسیلی برای به کارگیری عناصر کم‌مصرف جهت برطرف کردن نیاز گیاهان زراعی دارد و باعث بهبود سبز شدن گیاهچه، استقرار گیاه، عملکرد و غنی سازی دانه با عناصر کم مصرف می‌شود (Farooq *et al.*, 2012). در پیش‌تیمار بذر از عناصر کم‌مصرف به عنوان محرک‌های اسمزی (اسموتیکا) استفاده می‌شود (Singh, 2007; Imran *et al.*, 2004). بذرهای پیش‌تیمار شده به دلیل صرف زمان کمتر و تجمع متابولیت‌های تقویت کننده جوانه‌زنی (Farooq *et al.*, 2006; Basra *et al.*, 2005) ، معمولاً جوانه‌زنی بهتر، همزمانی و هماهنگی بهتری در تولید نشا و استقرار گیاهچه دارند (Farooq *et al.*, 2009). اخگری و کاویانی (۱۳۹۸) در بررسی تأثیر اثر پرایمینگ بر بنیه بذر وگیاهچه دو رقم برنج (خزر و هاشمی) نشان دادند که اثر تیمارهای کاربردی (شامل تیمار حاوی سولفات روی) روی صفات هدایت الکتریکی بذور بعد از پیش تیمار، سرعت رسیدن بذر به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه در واحد سطح در روز بیستم بعد از کاشت و مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵، ۲۵ و ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذر، در سطح یک درصد و صفات سرعت جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر تیمارهای پرایمینگ بر تعداد گیاهچه سبزشده در واحد سطح در مزرعه در روز بیستم بعد از کاشت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. Ancy et al. (2022) نیز دریافتند که پیش تیمار بذر برنج با محلول ۵ در هزار سولفات روی سبب بهبود خصوصیات مورفولوژیکی نشا و جذب بهتر عنصری مانند کلسیم، بور و روی شده ولی بر جذب نیتروژن، فسفر و منیزیم تأثیر معنی‌دار دیده نشد. نظری و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر ارقام برنج هاشمی و گوهر نشان دادند که بالاترین درصد، سرعت سبز شدن و تعداد روز جهت رسیدن به ۹۰ درصد سبز شدن در ارقام هاشمی و گوهر بیشتر تحت پرایمینگ با نمک‌هایی مانند کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم به‌دست آمد تا اینکه از سولفات روی اثر پذیرفته باشد. علی رغم انجام مطالعات گسترده در زمینه تأثیر تیمار کردن بذر با عناصر کم‌مصرف در برنج، هنوز پاسخ به بسیاری از پرسش‌ها در زمینه گزینش تیمار مناسب برای انجام پیش تیمار بذر با عناصر کم‌مصرف روی (به ویژه زمان تیمار) نیازمند بررسی‌های بیشتر در ارقام بومی است؛ بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر پیش تیمار بذر با عنصر روی بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاهچه برنج رقم هاشمی و جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف طراحی، تدوین و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سه بخش جداگانه پژوهشی و به صورت آزمایش‌های آزمایشگاهی و گلدانی در هوای آزاد در طی سال زراعی ۱۴۰۰ در موسسه تحقیقات برنج کشور–رشت اجرا شد. آزمایش آزمایشگاهی اول و دوم در قالب طرح کاملاً تصادفی با عامل آزمایشی پیش تیمار بذر با سولفات روی در چهار سطح شامل بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی یا شاهد، پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت و در سه تکرار اجرا شد. بدین منظور تعداد ۲۴۰ عدد بذر از برنج رقم هاشمی خالص و گواهی شده در موسسه تحقیقات برنج کشور انتخاب و در داخل پتری دیش استریل شده با اسید کلریدریک (۰/۰۵ مولار) به ابعاد (۱/۵ ×۱۰ سانتیمتر) بر روی کاغذ صافی واتمن شماره یک به نحوی کنار هم قرار داده شدند که با یکدیگر تماس نداشته باشند. سپس محلول محلول ۵ در هزار سولفات روی را به همه ظروف به نسبت ۱ به ۱۰ (۵ بذر و ۵۰ میلی‌لیتر محلول) و به نحوی که روی تمام بذور را بپوشاند افزوده شد. تمامی پتری‌دیش‌ها به منظور به حداقل رساندن تبادلات رطوبتی با پارافیلم پوشیده شدند. همچنین دقت شد در صورت کاهش مقدار محلول در اثر پدیده آبنوشی بذر بلافاصله از محلول ۵ در هزار سولفات روی به پتری دیش افزوده شود. این نکته در تیمارهای با زمان طولانی‌تر ۱۲ و ۲۴ حائز اهمیت بیشتری بود. در تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شده است. سپس تمامی ظروف در دمای ۰/۵ ±۲۵ درجه سانتیگراد و در ژرمیناتور براساس زمان در نظر گرفته شده در تیمارهای آزمایشی در محیط تاریک نگهداری شد (Razak *et al* ., 2014). پس از اتمام زمان نگهداری هر تیمار ظروف از ژرمیناتور خارج و بذور پس از شستشو با آب مقطر به مدت ۵ ثانیه در هوای آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت خشک و به رطوبت اولیه بازگردانده شد (Li *et al.*, 2021). ۱۰۰عدد از بذور تیمار شده برای اندازه‌گیری مقدار عناصر روی، فسفر، نیتروژن و پتاسیم در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شده و به آزمایشگاه شیمی بخش تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور فرستاده شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه توسط دستگاه آسیاب برقی برای رسیدن به قطر ۰/۱ میلی متر پودر شدند. عناصر بیان شده در بذور پس از عصاره گیری و سپس مقدار آنها توسط دستگاه کجلدال (نیتروژن کل)، اسپکتروفتومتر (فسفر کل)، فلیم‌فتومتر (پتاسیم کل) و جذب اتمی (عناصر میکرو) قرائت شد.

در آزمایش دوم، ۱۲۰ عدد بذر باقی مانده در ۱۲ دیش پتری دیش استریل شده با اسید کلریدریک (۰/۰۵ مولار) به ابعاد (۱/۵ ×۱۰ سانتیمتر) بر روی کاغذ صافی واتمن شماره یک به نحوی کنار هم قرار داده شدند که با یکدیگر تماس نداشته باشند. مجددا اطراف ظروف به منظور به حداقل رساندن تبادلات رطوبتی با پارافیلم بسته شد. سپس محلول محلول ۵ در هزار سولفات روی را به همه ظروف به نسبت ۱ به ۱۰ (بذر به محلول) و به نحوی که روی تمام بذور را بپوشاند افزوده شد. پتری‌دیش‌ها در ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و تاریکی قرار گرفتند. تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز دو بار و به فاصله زمانی ۱۲ ساعت شمارش و برداشت نمونه‌ها ۱۵ روز بعد از شروع تیمار انجام شد. پس از برداشت، ریشه چه و ساقه چه از بذر جدا و طول آنها به وسیله خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای محاسبه حداکثر درصد جوانه زنی، سرعت جوانه‌زنی ، زمان تا ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی، زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی و زمان تا ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی با استفاده از برنامه تحت اکسل ژرمین (Germin) و براساس روش سلطانی و مداح (۱۳۸۹) محاسبه شدند.

آزمایش سوم به‌صورت گلدانی در هوای آزاد در طی سال زراعی ۱۴۰۰ در موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت به صورت فاکتوریل (با دو فاکتور) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و بر روی رقم برنج هاشمی (محلی) در سه تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایشی شامل پیش تیمار بذر با سولفات روی در چهار سطح شامل بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی یا شاهد، پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت و خاک در دو سطح (خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$) و خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$)) بودند. در این آزمایش، براساس نتایج ثبت شده 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 نمونه برداری شد. نمونه‌های خاک در معرض هوا خشک شد 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 Bauder, 1986)، اسیدیته عصاره اشباع با الکترود شیشه‌ای (Bates and Vijh, 1973)، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع به روش هدایت سنجی (Roades, 1982)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در اسیدیته ۷ (بوور، ۱۹۵۲)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen, 1954)، نیتروژن کل بر اساس روش کجلدال (Bremner, 1965)، پتاسیم قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (Thomas, 1982) و روی به روش عصاره‌گیری با DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) اندازه‌گیری شد. از بین نمونه‌ها دو نمونه خاک با روی قابل استفاده کمتر و بیشتر از آستانه بحرانی (۲ میلی گرم 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 تیمارهای آزمایش به خاک افزوده و به خوبی با آن مخلوط شد. پس از غرقاب نمودن و گلخرابی خاک به گلدان‌ها زمان داده شد تا میزان رطوبت آن به ظرفیت مزرعه برسد. سپس در هر گلدان تعداد ۷۵ بذر برای تولید نشا قرار داده و روی آن به مقدار یک سانتی‌متر با خاکی مشابه خاک زیرین پوشانده شد. عملیات داشت و مراقبت برای تولید گیاهچه سالم براساس توصیه‌های زراعی موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. پس از بیست و هشت روز و رسیدن نشا به مرحله دو تا سه برگی (زمان مناسب برای انتقال نشا به زمین اصلی) از هر گلدان و در سه تکرار تعداد ۱۰ نشا شامل ریشه و ساقه خارج و صفاتی مانند وزن‌تر و طول تر ساقه و ریشه اندازه گیری شد. سپس تمامی نمونه‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد خشک شد. وزن و طول خشک ساقه و ریشه دوباره تعیین شد. ریشه و بخش هوایی نشاهای خشک شده برای اندازه‌گیری مقدار عناصر روی، فسفر، نیتروژن و پتاسیم در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شده و به آزمایشگاه شیمی بخش تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور فرستاده شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه برای رسیدن به قطر ۰/۱ میلی متر پودر شدند. عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی در بخش هوایی و ریشه قرائت شد (Campbell and Plank, 1998). پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌ها ابتدا با آزمون آماری کولموگرف–اسمیرونوف نرمال‌بودن داده‌ها انجام و سپس با نرم‌افزار SAS نسخه ۹,۱ تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها نیز با روش حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

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 قابل جذب بیشتر از آستانه بحرانی (۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و خاک منطقه سیاهکل دارای میانگین روی قابل جذب کمتر از آستانه بحرانی است (Dobermann and Farhurst, 2000). به استثنای روی قابل جذب سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش تفاوت معنی دار و موثر بر نتایج آزمون را ندارند.

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

pH	EC	SP (رطوبت اشباع)	کربن آلی ماده آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	روی قابل جذب	رس	سیلت	شن	بافت خاک
	dS/m		درصد			میلی‌گرم بر کیلوگرم			درصد			
۷/۱۱	۰/۴۵	۸۷	۱/۴	۲/۴۱	۰/۱۳	۱۰	۱۹۸	۱۰۲	۶/۶	۵۱	۲۸	۲۱	رسی
۷/۱۸	۰/۵۱	۷۹	۱/۳۵	۲/۳۴	۰/۱۰	۷/۴۵	۷۵	۶۹	۱/۱	۴۶	۸	۴۶	رس سیلت دار

آزمایش اول

مقدار عناصر روی و نیتروژن، فسفر و پتاسیم در بذر برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی بر مقدار عنصر روی در بذر برنج رقم هاشمی، در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نیز بر این نکته تاکید دارد که تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد بر مقدار عنصر روی در بذر برنج رقم هاشمی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشتند. بیشترین میزان تأثیر ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) سبب افزایش ۱۷/۵ برابری مقدار عنصر روی در بذر برنج رقم هاشمی شدند. در بررسی تأثیر پیش تیمار بذر گیاه برنج با محلول ۵ در هزار سولفات روی بر محتوای این عنصر در بذر برنج Johnson et al. (2005) از افزایش ۵۸۰ درصدی آن گزارش نمودند. Ancy et al. (2022) بیان داشتند که اگرچه پیش تیمار بذر با محلول‌های حاوی روی روشی ساده و کم هزینه برای بهبود جوانه زنی و رشد گیاهچه برنج است ولی به‌دلیل افزایش چشمگیر مقدار روی در بذر می‌تواند هم بر کمبود خاکی آن غلبه کند و هم به بهبود کمی و کیفی دانه کمک شایانی نماید. اخگری و کاویانی (۱۳۹۸) تأثیر اثر پرایمینگ بر بنیه بذر وگیاهچه دو رقم برنج را مورد بررسی قرار دادند. وی نشان داد که اثر تیمارهای کاربردی (شامل تیمار حاوی سولفات روی) روی صفات هدایت الکتریکی بذور بعد از پرایمینگ، سرعت رسیدن بذر به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه در واحد سطح در روز بیستم بعد از کاشت و مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵، ۲۵ و ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذر، در سطح یک درصد و صفات سرعت جوانه‌زنی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر تیمارهای پرایمینگ بر تعداد گیاهچه سبزشده در واحد سطح در مزرعه، ۲۰ روز پس از کاشت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. وی بخش عمده این اثرات مثبت را به افزایش میزان روی دانه پیش از ورود به خزانه نسبت داد. Li et al. (2021) نشان داد که پیش تیمار بذر سبب افزایش معنی‌دار میزان عنصر روی در لاین‌های برنج مورد بررسی هم در شرایط نرمال و هم شرایط تنش شد. Sadeghizadeh and Zarea (2021) در بررسی مقادیر مختلف روی (۰ تا ۵٪) و مدت تماس (۲۴ و ۴۸ ساعت) در برنج رقم عنبر بو و شمشیری نشان داد که نه تنها تمامی تیمار سبب افزایش مقدار روی در بذر برنج‌های تیمارشده گردید بلکه با افزایش غلظت و مدت تماس بر مقدار عنصر روی بذر به‌طور معنی‌داری افزوده می‌شود. بیشترین درصد افزایش در رقم عنبربو و شمشیری به ترتیب ۳۳ و ۸۷ برابر به ثبت رسیده است.

همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی بر مقدار عناصر نیترون، فسفر و پتاسیم در بذر برنج رقم هاشمی، در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) نیز تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته نیز بر این نکته تاکید دارد که تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد تنها بر مقدار عنصر نیتروژن در بذر برنج رقم هاشمی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشت، این در حالی است که تأثیر تمامی تیمارهای کاربردی پیش تیمار بر مقدار فسفر و پتاسیم تأثیر منفی و معنی‌دار دارد (جدول ۳). بیشترین میزان افزایش مقدار عنصر نیتروژن ناشی از تأثیر پیش‌تیمار ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۱۲ ساعت بود که بدون تفاوت معنی دار با پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) سبب افزایش ۱۰/۲۶ درصدی این صفت شد. بیشترین میزان کاهش مقدار عنصر

فسفر و پتاسیم نیز ناشی از تأثیر کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش‌تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) به ترتیب سبب کاهش ۲۸/۷۸ و ۳۴/۸۵ درصدی این دو عنصر شدند. با توجه عدم امکان توجیه این موضوع تیمارهای مذکور تکرار و نمونه‌های بذر دوباره مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت که تفاوتی با نتایج اولیه نداشت.

آزمایش دوم

خصوصیات جوانه‌زنی و مقدار عناصر در بذر رقم هاشمی

سرعت جوانه زنی

براساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر برنج رقم هاشمی، تیمارهای به‌کاررفته در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) بر سرعت جوانه زنی تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نشان داد که تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد بر سرعت جوانه زنی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته و بیشترین میزان تأثیر ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۱۲ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) سبب افزایش ۲/۹ برابری این صفت شد. افزایش سرعت جوانه زنی ناشی از تیمارهای پیش تیمار با محلول حاوی روی را می‌توان به بهبود سازوکارهای متابولیسمی و فیزیولوژیک بذر نسبت داد چرا که طی این فرآیند عناصر غذایی با قرار گیری بر روی بذر در مناسبترین فاصله برای مصرف توسط گیاهچه های در حال جوانه زنی قرار خواهد گرفت (Du et al., 2019). نظری و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی تأثیر پرایمینگ و پوشش دار کردن بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم برنج نشان دادند که پیش تیمار بذر بدون توجه به نوع عنصر غذایی بکار رفته در محلول به افزایش سرعت جوانه زنی بذر برنج ارقام محلی و اصلاح شده منجر شده است. آنها تأثیر پیش تیمار بذر برنج با سولفات روی ۵ در هزار به مدت ۱۲ ساعت را تنها ۱۰ درصد بیان کردند. که با یافته‌های Ancy et al. (2022) در یک راستا بود. پژوهشگران دلیل تأثیر پیش تیمار بذر با محلول‌های حاوی عناصر غذایی را به افزایش آنزیم‌های ایزوسیترات لیاز، آلفا و بتا آمیلاز و ۳- فسفو گلیسیرید دی‌هیدروژناز در بذور تیمار شده نسبت دادند (Varier *et al.*, 2010). آنزیم‌های خانواده دی هیدروژناز برای تکمیل فرآیندهای خود به عنصر روی وابستگی زیادی دارند (محمود سلطانی، ۲۰۱۷). در واقع بذور پیش‌تیمار شده از لحاظ طی مراحل جوانه‌زنی نسبت به بذور پیش‌تیمار نشده یک گام جلوتر هستند. طی آزمایشی علت تسریع درصد سبز شدن در اثر پوشش‌دهی بذر با ترکیبات اُسمزی را به افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های تجزیه‌کننده مانند آلفا آمیلاز، افزایش سطح شارژ انرژی زیستی در قالب افزایش مقدار ATP، افزایش سنتز RNA و DNA، افزایش تعداد و در عین حال ارتقاء عملکرد میتوکندری‌ها نسبت دادند (Shivankar *et al.*, 2003). علاوه بر آن، رشد و نمو مناسب گیاهچه حاصل از بذر تیمار شده ممکن است به علت سیالیت غشای پلاسمایی تحریک‌شده، تقسیم سلولی، طویل شدن و پروتئین‌های واکنش‌دهنده به تنش غیرزیستی باشد (Ibrahim, 2016). همچنین یافته‌های این تحقیق با نتایج Li *et al.* (2021) نیز در یک راستا است. که نشان داد پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی ۵ در هزار سبب افزایش ۶ درصدی میزان جوانه زنی در گیاه برنج تمامی لاین‌های مورد بررسی شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر برنج رقم هاشمی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		Gmax	R50	T10	T50	T90	نیتروژن بذر	فسفر بذر	پتاسیم بذر	روی بذر	طول ساقه چه	طول ریشه چه
تیمار	۳	ns۲/۲۱	**۰/۰۰۰۷	**۵۰/۰۴	**۴۵۵/۱۵	**۸۰۷/۹۰	**۰/۰۶۹	**۰/۰۲۱	**۰/۳۰۰	**۲۸۰۳۱۶/۱۵	**۱/۶۹	**۳/۴۸
خطا	۸	۰/۶۷	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۴۸	۱/۷۵	۰/۴۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۲/۲۵	۰/۰۶	۰/۰۴
ضریب تغییرات		۰/۸۳	۲/۰۵	۷/۷۴	۵/۴۳	۲/۰۶	۳/۴۷	۲/۵۲	۲/۳۳	۰/۳۳۷	۷/۰۹	۴/۷۹

ns و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در یک درصد است؛ Gmax، R50، T10، T50 و T90 به ترتیب عبارتند از حداکثر درصد جوانه زنی، سرعت جوانه‌زنی ، زمان تا ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی، زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی و زمان تا ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر بر خصوصیات جوانه‌زنی و مقدار عناصر غذای در بذر برنج رقم هاشمی

تیمار (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی)	R50	T10	T50	T90	نیتروژن بذر	فسفر بذر	پتاسیم بذر	روی بذر	طول ساقه چه	طول ریشه چه
	ساعت				میلی گرم در کیلوگرم				سانتی‌متر	
شاهد	۰/۰۲c	۱۲/۵۱a	۴۲/۷۸a	۵۹/۱۱a	۱/۵۶b	۰/۶۶a	۰/۶۶a	۴۳/۶۲d	۳/۴۴b	۴/۵۰b
۶ ساعت	۰/۰۵۱b	۱۲/۵۷a	۱۹/۴۵b	۴۸/۳۳b	۱/۶۸a	۰/۴۷d	۰/۴۳c	۴۰۰/۶۳c	۴/۳۳a	۵/۳۴a
۱۲ ساعت	۰/۰۵۸a	۵/۴۸b	۱۷/۱۵b	۲۳/۸۹d	۱/۷۲a	۰/۵۱c	۰/۴۹b	۵۶۶/۱۸b	۳/۱۱b	۴/۰۹c
۲۴ ساعت	۰/۵۳b	۵/۴۶b	۱۸/۰۷b	۲۹/۳۳c	۱/۳۸c	۰/۵۶b	۰/۵۱b	۷۶۵/۲۵a	۲/۵۳c	۲/۷۶d

در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد؛ R50، T10، T50 و T90 به ترتیب عبارتند از سرعت جوانه‌زنی، زمان تا ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی، زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی و زمان تا ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی

زمان تا ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی، زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی و زمان تا ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی

براساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر بر زمان تا ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی، زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی و زمان تا ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی بذر برنج رقم هاشمی، تیمارهای به‌کاررفته در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) بر سرعت جوانه‌زنی تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نشان داد که به جز پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت که با تیمار شاهد تفاوت معنی دار نداشت، تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد بر زمان تا ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشتند. بیشترین میزان تأثیر (کاهش زمان حداکثر جوانه زنی) بر زمان ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۱۲ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) به ترتیب سبب کاهش ۲/۲۸، ۲/۴۹ و ۲/۴۷ برابری این صفات شدند. در همین راستا Nawaz et al. (2016) نیز گزارش کردند پرایمینگ بذر برنج با محلول غذایی از طریق تحریک متابولیسم جوانه‌زنی و سنتز پروتئین سبب کاهش مدت زمان لازم جهت شروع و ۵۰ درصد سبز شدن شد. Farooq et al. (2006) دلیل ین موضوع را افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش مدت زمان لازم برای شروع و ۵۰ درصد جوانه–زنی در برنج عنوان کردند. در همین راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) گزارش نمودند که پیش‌تیمار بذر برنج با محلول حاوی روی سبب کاهش مدت زمان لازم جهت رسیدن به ۵۰ درصد سبز شدن گردید. طی پژوهشی Ali et al. (2021) کاهش زمان لازم جهت جوانه‌زنی برنج در اثر پرایمینگ را به افزایش تقسیم سلولی، جذب آب و عنصر روی توسط بذر، ترمیم و سنتز DNA و RNA، افزایش تحرک ذخایر آنزیمی مانند اسید فسفاتاز، دهیدروژناز، آلفا و بتا آمیلاز نسبت دادند. مطالعه‌ای بر روی برنج نشان داد پرایمینگ از طریق افزایش فعالیت تعدادی از آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها (آلفا و بتا آمیلاز)، پروتئاز و تجزیه لیپیدها سبب شکستن ماکرومولکول‌ها برای رشد و توسعه جنین و در نهایت موجب سبز شدن سریع و کاهش زمان لازم جهت شروع جوانه‌زنی می‌گردد (Sharma *et al.*, 2014). همچنین گزارش شد که پرایمینگ بذر برنج از طریق کاهش مالون دی آلدئید و افزایش کاتالاز سبب کاهش مدت زمان لازم جهت ۵۰ درصد سبز شدن در برنج گردید (Du *et al.*, 2019).

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه بذر برنج رقم هاشمی، در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۲). همچنین نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نیز بر این نکته تاکید دارد که تنها پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت در مقایسه با شاهد بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه بذر برنج رقم هاشمی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته و سایر تیمارها سبب کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه شده است. بیشترین میزان تأثیر مثبت و افزایشی در طول ساقه‌چه و ریشه‌چه ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) سبب افزایش ۲۵/۸۷ و ۱۸/۶۷ درصدی این صفات شدند. بیشترین میزان تأثیر منفی و کاهشی در طول ساقه‌چه و ریشه‌چه ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) سبب کاهش ۲۶/۴۵ و ۳۸/۶۷ درصدی این صفات شدند. لطیفی و امیدی (۱۳۹۸) در بررسی اثر پرایمینگ بر خصوصیات جوانه زنی بذر و گیاهچه برنج رقم عنبر بو نشان دادند که

تأثیر پیش تیمار اگرچه بر روی طول ریشه چه تأثیر مثبت و معنی دار داشت و سبب افزایش آن شده است ولی بر روی طول ساقه‌چه تأثیر معنی دار نداشت. وی این موضع را به افزایش فعالیت آلفا آمیلاز نسبت داد که در لایه آلورون به هیدرولیز نشاسته کمک کرده و گلوکزی که در نتیجه این هیدرولیز آزاد می‌شود می‌تواند به عنوان منبع انرژی برای رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه مورد استفاده قرار گیرد. به نظر می‌رسد عنصر روی نقش حیاتی در فعالیت این آنزیم بازی می‌کند (محمود سلطانی و پورصفر، ۱۴۰۰). اگرچه کاهش طول ریشه چه و ساقه چه در تیمارهایی که زمان تماس محلول با بذر بیشتر است نیز می‌تواند ناشی از محدودیت فشار اسمزی باشد که با کاهش جذب آب توسط گیاه فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه را دچار کندی کرده و از این مسیر تأثیر منفی خود را بر رشد سلولی گیاه جه می‌گذارد(آخوندی و همکاران، ۱۳۸۵؛ لطیفی و امیدی، ۱۳۹۸). Tuiwong et al., (2022) گزارش کردند که پیش تیمار بذر با محلول حاوی سولفات روی ۰/۰۷ درصد سبب افزایش معنی‌دار طول ساقه‌چه و ریشه‌چه ۷، ۱۴ و ۲۱ روزه شد. این نتایج بر این نکته تاکید داشت که ساقه‌چه و ریشه‌چه‌های طویل‌تر دارای مقدار روی بیشتری در ترکیب خود نیز بودند. تأثیر عنصر روی در افزایش رشد گیاه می‌تواند به نقش روی در تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه و فرآیندهای سوخت‌وساز آن از جمله فعال‌سازی سیصد آنزیم، سنتز پروتئین، متابولیسم‌های درگیردرتولید کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم باروری(تشکیل گرده) از طریق تحت تأثیر قراردادن فعالیت‌های آنزیم‌های موثر بر رشد، تثبیت ساختارهای ریبوزومی و سنتز سیتوکروم نسبت داده شود (Esper Neto et al., 2020).

آزمایش سوم

خصوصیات مورفولوژیکی و میزان عناصر در بخش‌های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی

وزن‌تر و خشک بخش هوایی گیاهچه برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد در حالی که سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی ، نوع خاک و اثر متقابل آنها بر وزن تر بخش هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشتند ولی تنها سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی بر وزن خشک بخش هوایی گیاهچه برنج در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۲). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای به‌کار رفته (جدول ۶) نیز بر این نکته تاکید دارد بدون تفاوت معنی‌دار در نوع خاک تنها پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت در مقایسه با شاهد بر وزن تر گیاهچه برنج رقم هاشمی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته و سایر تیمارها سبب کاهش این صفت شده است. بیشترین میزان تأثیر معنی‌دار، مثبت و افزایشی در وزن‌تر گیاهچه برنج ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) سبب افزایش ۲۴/۳۶ و ۲۰/۰۰ درصدی این صفت به ترتیب در خاک با کمبود و بدون کمبود روی شدند. بیشترین میزان تأثیر منفی و کاهشی در وزن‌تر گیاهچه برنج ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۱۲ و ۲۴ ساعت بود که بدون اختلاف معنی دار با هم نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) سبب کاهشی در حدود ۴۵ درصدی این صفت شدند(جداول۹).

با توجه به عدم معنی داری اثر متقابل تیمارهای کاربردی و اثر ساده نوع خاک بر وزن خشک ساقه گیاهچه برنج ، نتایج مقایسه میانگین اثر ساده پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی در زمان‌های گوناگون (جدول ۴) نشان داد که پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت در مقایسه با شاهد بر وزن‌تر گیاهچه برنج رقم هاشمی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته و سایر تیمارها سبب کاهش این صفت شده است. بیشترین میزان تأثیر معنی‌دار، مثبت و افزایشی در وزن خشک گیاهچه برنج ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) سبب افزایش ۳۸/۲۳ درصدی این صفت شد. بیشترین میزان تأثیر منفی و کاهشی در وزن خشک گیاهچه برنج ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) سبب کاهشی در حدود ۱۳/۵۳ درصد این صفت شدند (جداول ۷ و ۸). اخگری و کاویانی (۱۳۹۸) در بررسی اثر پرایمینگ بر بنیه بذر وگیاهچه دو رقم برنج محلی هاشمی و اصلاح شده خزر نشان دادند که صفات وزن‌تر و خشک ساقه‌چه در سطح احتمال ۵ درصد از تیمارهای پیش تیمار و در سطح احتمال ۱ درصد از اثر متقابل پیش تیمار و رقم تأثیر پذیرفت. در بین ارقام مورد آزمایش رقم هاشمی نسبت به خزر با وزن تر و خشک به ترتیب ۳۴/۰۷ و ۹/۱ میلی‌گرم واکنش بهتری به تیمارهای کاربردی از خود نشان داد. که به نظر می‌رسد این تفاوت ناشی از اثر تنوع ژنتیکی در صفات مورد بررسی بود. این نکته بر این موضوع تاکید دارد که ارقام محلی مانند

هاشمی دارای متابولیسم بذر بیشتری نسبت به رقم اصلاح شده خزر داشته و در مراحل اولیه رشد گیاهچه‌ای و استقرار در شالیزار که گیاه برنج به توانی بذر برای تامین غذا متکی است از پتانسیل بیشتری برخوردار بوده که می‌تواند ناشی از فعالیت متابولیکی بیشتر و پویایی مواد دخیره ایی بذر برای انتقال به گیاهچه باشد. Ancy et al. (2022) در پژوهش بررسی تأثیر پیش تیمارهای غذایی نشان داد که پیش تیمار محلول ۰/۰۵ درصد سولفات روی سبب افزایش۴ و ۶ درصدی زیست توده و وزن خشک ساقه چه گیاهچه برنج شد. این یافته‌ها با نتایج نظری و همکاران(۱۴۰۰) در یک راستاست. آنها نشان دادند که پیش تیمار بذور با تیمارهای مختلف کاربردی سبب افزایش معنی دار وزن خشک گیاهچه دو رقم برنج طارم هاشمی و شیرودی به میزان ۱۲ تا ۵۵ درصد (بسته به نوع تیمار) شد. چراکه پیش تیمار به جذب بیشتر مواد غذایی و رطوبت انجامیده و سرعت ظهور و استقرار گیاهچه را افزایش می‌دهد. همچنین رقم شیرودی در مقایسه با طارم هاشمی ۳۲/۹ درصد وزن خشک گیاهچه بیشتری تولید کرد. افزایش وزن گیاهچه در بذرهای پیش تیمار شده می‌تواند به دلیل افزایش ساخت و ساز آنزیم‌های هایدرولیتک موثر در افزایش پویایی و کارایی منابع غذایی بذر باشد (Sivritepe et al., 2003).

وزن‌تر و خشک ریشه گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد در حالی که تنها سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی بر وزن تر ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشت، این در حالی است که ، نوع خاک و اثر متقابلش با سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی بر این صفت تاثیرگذار نبود. همچنین نتایج حاکی از آن است که سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی و نوع خاک بر وزن خشک ریشه گیاهچه برنج در سطو ح احتمال ۱ و ۵ درصد تأثیر معنی‌دار داشته و اثر متقابل آنها بر این صفت اثرگذار نبود (جدول ۴). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای به‌کار رفته (جدول ۶) نیز بر این نکته تاکید دارد اگرچه بدون توجه به نوع خاک همه ی تیمارهای کاربردی پیش تیمار بر این دو تأثیر مثبت داشتند ولی پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت در مقایسه با شاهد بر وزن‌تر و خشک ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی بیشترین تأثیر مثبت و معنی‌دار داشت. بیشترین میزان تأثیر معنی‌دار، مثبت و افزایشی در وزن تر و خشک ریشه گیاهچه برنج ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) به ترتیب سبب افزایش ۵۷/۳۴ و ۳۶/۶۲ درصدی این صفت شدند (جداول ۷ و ۸). نظری و همکاران (۱۴۰۰) گزارش نمودند که که اثر پیش تیمار بذر با محلول‌های غذایی سبب شد تا وزن خشک ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی و گوهر به ترتیب ۴۱/۷۲ و ۷۴/۳۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یابد. اخگری و کاویانی (۱۳۹۸) در بررسی تأثیر پیش تیمار بذر با محلول‌های غذایی بر بنیه بذر وگیاهچه دو رقم برنج نشان دادند که برهمکنش پیش تیمار و رقم بر وزن خشک ریشه تأثیر مثبت و معنی داری بر هر دو رقم مورد بررسی (هاشمی و خزر) داشته و سبب بهبود این صفت در مقایسه با شاهد شده و در این بین رقم خزر با داشتن تعداد ۵ ریشه‌چه، از وزن‌تر بیشتری (۱۴/۷۵ میلی‌گرم) نسبت به هاشمی برخوردار بوده است.

وزن کل تر و خشک زیست‌توده گیاهچه برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد در حالی که تنها سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی بر وزن کل تر و خشک زیست‌توده گیاهچه برنج رقم هاشمی در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشت، این در حالی است که ، نوع خاک تنها بر وزن‌تر در سطح احتمال ۵ درصد ($p\leq0.05$) موثر بوده و اثر تقابل این دو عامل بر هیچکدام از این دو صفت تاثیرگذار نبود (جدول ۲). با توجه به عدم معنی‌داری اثر متقابل تیمارهای کاربردی بر وزن کل تر و خشک زیست توده گیاهچه برنج ، نتایج مقایسه میانگین اثر ساده پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی در زمان‌های گوناگون (جدول ۴) نشان داد که پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت در مقایسه با شاهد بر وزن کل‌تر و خشک زیست‌توده گیاهچه برنج رقم هاشمی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته و سایر تیمارها سبب کاهش این صفات شده است. بیشترین میزان تأثیر معنی‌دار، مثبت و افزایشی در وزن کل تر و خشک زیست‌توده گیاهچه برنج ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) به ترتیب سبب افزایش ۴۱/۴۳ و ۵۴/۹۶ درصدی این صفات شد. بیشترین میزان تأثیر منفی و کاهشی در وزن کل تر و خشک زیست‌توده گیاهچه برنج برنج بدون تفاوت معنی‌دار با پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۱۲ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی) به ترتیب سبب کاهشی در حدود ۱۷/۲۸ و ۱۰ درصدی این صفات شدند. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تأثیر

نوع خاک بر صفت وزن کل تر زیست‌توده گیاهچه برنج حاکی از این است که مقدار این صفت در خاک بدون کمبود روی نسبت به خاک با کمبود روی ۷ درصد بیشتر است (جدول ۹). Ancy et al. (2022) در بررسی تأثیر پیش تیمار بذر برنج رقم جیوتی با عناصر غذایی کم مصرف روی، مس و عنصر پرمصرف نیتروژن نشان داد که اگرچه هرکدام از این عناصر به تنهایی می‌توانند نقش مثبتی بر شاخص‌های مورفولوژیکی گیاهچه برنج ایفا کنند ولی ترکیب عنصر کم‌مصرف روی و نیتروژن بهترین اثربخشی را بر تولید زیست توده گیاهچه برنج داشته و سبب افزایش ۱۱/۱۷ درصدی این صفت و افزایش ۳ درصدی ماده خشک تولیدی شده است. Attar et al. (2020) گزارش کردند که اگرچه پیش تیمار بذر جو و گندم با محلول ۳ در هزار روی تأثیر معنی داری بر وزن‌تر و خشک گیاهچه این دو گیاه نداشت ولی محلول ۵ در هزار روی به طور متوسط سبب افزایش به ترتیب ۲۰ و ۱۵/۸۴ درصدی وزن تر و خشک گیاهچه شده است. این یافته‌ها با یافته‌های Ozturk et al. (2006) و Harris et al. (2007) در خصوص تأثیر پیش تیمار بذر با عنصر روی در یک راستاست.

نسبت وزن تر ریشه به ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد در حالی که سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی در در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) بر نسبت وزن‌تر ریشه به ساقه تأثیر معنی‌دار داشت ولی اثر متقابل پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی و نوع خاک بر این صفت در سطح احتمال ۵ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای به‌کار رفته (جدول ۶) نشان می‌دهد که بدون تفاوت معنی‌دار در نوع خاک تمامی سطوح پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی در مقایسه با شاهد بر نسبت وزن‌تر ریشه به ساقه تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته و لی بیشترین میزان تأثیر معنی‌دار، مثبت و افزایشی در نسبت وزن تر ریشه به ساقه ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۶ ساعت بود که نسبت به شاهد (بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی– ۰/۰۸ گرم) سبب افزایش۷۰ درصدی این صفت در خاک بدون کمبود روی شد (جداول ۹). عنصر روی، یک عنصر کم‌مصرف ضروری و تنها فلزی است که بخش مهمی از ساختار شش کلاس مختلف از آنزیم‌هایی است مه در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی دخیل است. پرایمینگ بذر با روی اثرات مثبتی بر روی قدرت بذر، جوانه زنی، رشد اولیه گیاهچه و تولید زیست توده، و میزان فتوسنتزی داشته و کارایی و محتویات قند، نیتروژن کل، پروتئین و ریزمغذی‌ها در بسیاری از محصولات کشاورزی به ویژه غلات را افزایش می‌دهد (Broadley at a;., 2007; Li et al., 2013; Farzan et al., 2018, Moghaddasi, S. et al., 2017 and Adhikary et al., 2020). Adhikary et al. (2022) نشان دادند که بخش مهمی از بهبود زیست توده (ریشه و بخش هوایی) در اثر پیش تیمار بذر با محلول حاوی عنصر روی ناشی از فزایش شاخص سطح برگ، شاخص رشد محصول زراعی، شاخص جذب خالص زیست توده و جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف است. یافته‌های این پژوهش با یافته‌های نظری و همکاران (۱۴۰۰)، Ancy et al. (2022) در یک راستاست.

مقدار عنصر روی در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی و نوع خاک بر مقدار عنصر روی در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشته است. این در حالی است که اثر متقابل این دو عامل بر مقدار عنصر روی در ریشه و اندام‌هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نیز بر این نکته تاکید دارد که تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد بر مقدار عنصر روی در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشتند. بیشترین میزان تأثیر بر مقدار عنصر روی در اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی (۹۳/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت در خاک دچار کمبود روی (حاک ۱) بود که نسبت به شاهد ۱(بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی در خاک ۱– ۳۴/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و شاهد ۲(بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی در خاک ۲– ۳۲/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) به ترتیب سبب افزایش ۲/۷۱ و ۲/۹۱ برابری این صفت شدند. همچنین بیشترین میزان تأثیر بر مقدار عنصر روی در ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی (۲۳۳/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت بود که نسبت به شاهد ۱(بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی در خاک ۱– ۱۰۲/۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و شاهد ۲(بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی در خاک ۲–۹۲/۹۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) به ترتیب سبب افزایش ۲/۲۷ و ۲/۵۱ برابری این صفت شدند(جداول۹). در بررسی تأثیر پیش تیمار بذر گیاه برنج با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۱۲ ساعت بر محتوای این عنصر

در بذر برنج جوتی در هند، آنسی و همکاران (۲۰۲۲) بیان داشتند که این روش به افزایش چشم گیر مقدار روی در گیاهچه برنج (به میزان ۴۴ درصد) و سبب بهبود کمی (افزایش ۴ درصد زیست توده نشا) منجر شد. این مطالعه همچنین نشان داد که بیشترین میزان عنصر روی در گیاهچه برنج پش از ۱۴ روز بدست آمده و کمترین مقدار نیز در گیاهچه ۲۱ روزه دیده شده است. در حالی‌که تمامی تیمارهای کاربردی سبب افزایش مقدار روی گیاهچه برنج شده‌اند ولی میزان افزایش در ریشه (در حدود ۴ برابر) در مقایسه با بخش هوایی (در حدود ۳ برابر) بسیار بیشتر بود. Li et al. (2021) در بررسی تأثیر پیش تیمار بذر دو رقم برنج معطر Yuxiangyouzhan و Xiangyaxiangzhan با چهار سطح نانواکسید روی (۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط تنش عنصر سمی و سنگین کادمیوم و شرایط غیر تنش گزارش نمود که مقدار عنصر روی در گیاهچه این دو رقم برنج در هر دو شرایط بیان شده بطور معنی‌داری افزایش یافت. اگرچه میزان افزایش در شزایط غیر تنش بیشتر از شرایط تنش بود. در این بین رقم اول در مقایسه رقم دوم از قدرت جذب روی کمتری برخوردار بود. همچنین موثرترین تیمار در افزایش مقدار روی در گیاهچه ارقام برنج مذکور در شرایط تنش تیمار ۵۰ و در شرایط غیر تنش ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر روی بود. ولی میزان افزایش در هر دو شرایط نسبت به شاهد در حدود سه برابر گزارش شده است. این یافته توسط سایر پژهشگران نیز تایید شده است (Chen et al., 2018; Cai et al., 2019).

مقدار عنصر نیتروژن در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی و نوع خاک بر مقدار عنصر نیتروژن در اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشته است. این در حالی است تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی و نوع خاک بر مقدار عنصر نیتروژن در ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی معنی دار نبوده است (جدول). علاوه بر این اثر متقابل این دو عامل بر مقدار عنصر نیتروژن در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی نیز معنی دار نبود (جدول۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نیز بر این نکته تاکید دارد که تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد بر مقدار عنصر نیتروژن در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشتند. بیشترین میزان تأثیر بر مقدار عنصر نیتروژن در اندام هوایی و ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی نسبت به شاهد به ترتیب ۶/۵ درصد و ۲/۴ برابر و ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت به ترتیب ۱۲ و ۲۴ ساعت بود (جدول). همچنین بررسی تأثیر عامل نوع خاک بر این دو صفت نیز حاکی از این است که مقدار عنصر نیتروژن در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج به ترتیب ۶/۴ درصد و ۱۹/۶۵ درصد در خاک بودن کمبود روی نسبت به خاک دارای کمبود روی بیشتر بود (جداول ۷ و ۸). Adhikary et al. (2022) در بررسی تأثیر کاربرد پیش تیمار نانوکلات‌های روی بر مقدار عناصر در گیاهچه برنج زود رس و ارتفاع متوسط AJIT IET 22066 در هند که به روش کشت مستقیم کاشته شدند نشان داد که این روش سبب بهبود جذب نیتروژن شده و مقدار ان در گیاهچه برنج به مقدار ۸/۲۸ درصد افزایش یافت. Ancy et al. (2022) در پژوهش بررسی تأثیر پیش تیمارهای غذایی نشان داد که پیش تیمار محلول ۰/۰۵ درصد سولفات روی سبب افزایش ۲۲/۸۳ درصدی مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاهچه برنج واریته Jyothi شد. Tuiwang et al. (2021) و Guha et al. (2018) علت تأثیر پیش تیمار عنصر روی بر افزایش جذب عناصر و بهبود رشد و نمو برنج را به تأثیر کلی این عنصر بر فرآیندهای رشد، فتوسنتز و آنزیم‌های موثر برمتابولیسم گیاهی دانست. توی ونگ و همکاران (۲۰۲۱) همچنین بیان داشتند که براساس نتایج پژوهش Tuiwang et al. (2021) با کاربرد پیش تیمار ابتدا جذب عناصر غذایی افزایش یافته و سپس نتیجه این جذب در افزایش عملکرد دانه برنج خود را به نمایش می‌گذارد. نکته حائز اهمیت در این بین مقدار کمتر نیتروژن ریشه در تمامی تیمارهای کاربردی نسبت به ریشه است که می‌تواند ناشی از متحرک سازی دوباره فسفر ریشه و حرکت و تجمع آن در بخش هوایی و هم نیاز بیشتر این بخش به نیتروژن و انتقال نیتروژن جذب شده به بخش هوایی باشد. این نکته پیش از این در پژوهش‌های Silveira et al. (2007) ، Roriz et al. (2014) و Guha et al. (2018) نیز گزارش شده است.

مقدار عنصر فسفر در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی و نوع خاک بر مقدار عنصر فسفر در اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشته است. این در حالی است تنها تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی بر مقدار عنصر فسفر در ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی معنی دار بوده و نوع خاک بر مقدار فسفر ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی معنی دار نبوده است (جدول۴). علاوه بر این اثر متقابل این دو عامل بر مقدار عنصر فسفر در ریشه و اندام

هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی نیز معنی دار نبود (جدول۶). همچنین نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳) نیز بر این نکته تاکید دارد که اثرات ساده تمامی تیمارها (باستثنای پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت که با شاهد تفاوت معنی دار نداشت. در مقایسه با شاهد بر مقدار عنصر فسفر در اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی و فقط پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی بر مقدار فسفر ریشه تأثیر منفی و معنی‌دار داشت (جدول۴). بیشترین میزان تأثیر منفی بر مقدار عنصر فسفر در اندام هوایی و ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی نسبت به شاهد به ترتیب ۲۲/۲۲ و ۳۷/۵ درصد و ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت بود (جداول ۷ و ۸). همچنین بررسی تأثیر عامل نوع خاک بر این دو صفت نیز حاکی از این است که مقدار عنصر فسفر در اندام هوایی گیاهچه برنج از نوع خاک تأثیر پذیرفته و به مقدار آن ۱۸/۱۸ درصد در خاک بودن کمبود روی نسبت به خاک دارای کمبود روی بیشتر بود. Ancy et al. (2022) در پژوهش بررسی تأثیر پیش تیمارهای غذایی نشان داد که پیش تیمار محلول ۰/۰۵ درصد سولفات روی باعث کاهش قدار فسفر جذب شده توسط گیاهچه برنج واریته Jyothi شد. اگرچه مقدار آن در مدت زمان تماس کمتر با شاهد تفاوت معنی‌دار نداشته با این حال از نظر عددی کاهش داشت. به نظر می‌رسد اثرات آنتاگونیستی روی و فسفر می‌تواند یکی از دلائل این نکته باشد چرا که مقدار روی در این مرحله از رشد گیاه در تمامی اندام‌های گیاهچه برنج بسیار زیاد است (جدول۶).

مقدار عنصر پتاسیم در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف پیش تیمار بذر با محلول حاوی روی و نوع خاک بر مقدار عنصر پتاسیم در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی در سطح احتمال ۱ درصد ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشته است. این در حالی است که اثر متقابل این دو عامل بر مقدار عنصر پتاسیم در ریشه و اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی معنی دار نبود (جدول۴). همچنین نتایج مقایسه میانگین تیمارهای به‌کاررفته (جدول ۳). نیز بر این نکته تاکید دارد که اثرات ساده تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد بر مقدار عنصر پتاسیم در اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشتند. این در حالی است که بر مقدار پتاسیم ریشه اگرچه در زمان پیش تیمار ۵ ساعت معنی دار نبود ولی با افزایش زمان تماس محلول به ۱۲ و ۲۴ ساعت مقدار پتاسیم در ریشه کاهش یافت. بیشترین میزان تأثیر بر مقدار عنصر پتاسیم در اندام هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۱۲ ساعت بود که نسبت به شاهد در حدود ۲۳ درصد افزایش داشت. همچنین بیشترین میزان تأثیر منفی بر مقدار عنصر پتاسیم در ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی ناشی از کاربرد پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۲۴ ساعت بود که نسبت به شاهد ۱۲/۲۵ درصد کاهش داشت (جداول ۷ و ۸). آنسی و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش بررسی تأثیر پیش تیمارهای غذایی نشان داد که پیش تیمار محلول ۰/۰۵ درصد سولفات روی باعث کاهش قدار پتاسیم جذب شده توسط گیاهچه برنج واریته Jyothi شد. اگرچه مقدار آن در مدت زمان تماس کمتربا با شاهد تفاوت معنی دار نداشت. این موضوع را می‌توان با فرآیند متحرک‌سازی مقدار پتاسیم ریشه و انتقال تمامی پتاسیم موجود در ریشه (جذب شده و ذخیره شده) به بخش هوایی مرتبط دانست که سبب شده است تا مقدار آن در ریشه در تمامی تیمارها یکسان و بدون اختلاف معنی دار به نظر برسد. این نکته در یافته‌های Silveira et al. (2007) ، Roriz et al. (2014) و Guha et al. (2018) وضوح بین شده است. Guha et al. (2018) با اندازه گیری نسبت انتقال عناصر از ریشه به بخش هوایی در خصوص پتاسیم بیان داشت از آنجائیکه هر گونه افزایش در اندام‌های هدف (بخش و هوایی در گیاهچه برنج) از دو مسیر افزایش جذب در ریشه و متحرک سازی دوباره رخ می‌دهد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که مقدار برخی عناصر مانند پتاسیم و فسفر در ریشه در تمامی تیمارها به سطح شاهد نزدیک شود در خالی که در اندام‌های هوایی این تفاوت بهتر خود را نشان می‌دهد.

جدول ٤- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر و نوع خاک بر خصوصیات مورفولوژیکی نشا و میزان مقادیر عناصر در بخش‌های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		بخش هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی								بخش ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی			
		وزن		طول		مقدارکل				وزن		طول	
		تر	خشک	تر	خشک	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	روی	تر	خشک	تر	خشک
پیش تیمار	۳	۱۶۹/۶۵**	۳۹/۰۷**	۱۷۸/۳۸**	۳۵/۹۷**	۴/۴۰**	۰/۷**	۱۶۹/۶۵**	۰/۰۰۸**	۴/۴۰**	۱/۶۷**	۳/۴۳**	۱/۳۱**
نوع خاک	۱	۹/۷۳*	۲/۱۰ns	۱۱/۸۴**	۰/۰۰۶ns	۰/۰۰۸**	۰/۰۲۵**	۹/۷۵**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۸ns	۰/۱۶*	۰/۴۷**	۰/۹۹**
پیش تیمار× نوع خاک	۳	۴/۸۳*	۱/۰۵ns	۴/۱۲*	۰/۰۶۶ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۱۱ns	۴/۸۳ns	۰/۰۰۳*	۰/۴۰۰ns	۰/۰۳ns	۰/۲۶**	۰/۰۷

خطا	۱۶	۱/۳۳	۰/۶۵	۱/۲۱	۰/۷۲	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۱/۳۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۳۸	۰/۰۴
ضریب تغییرات (٪)		۶/۲۱	۷/۴۵	۵/۹۵	۷/۵۷	۹/۶۴	۲/۸۳	۶/۲۱	۷/۶۷	۹/۶۵	۱۳/۹۹	۸/۰۴	

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

ادامه جدول ٤- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر و نوع خاک بر خصوصیات مورفولوژیکی نشا و میزان مقادیر عناصر در بخش-های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		نسبت وزن تر ریشه به ساقه	وزن تر کل نشا	وزن خشک کل نشا	بخش ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی		
					مقدار کل		
					نیتروژن	پتاسیم	فسفر	روی	نیتروژن
پیش تیمار	۳	**۰/۰۰۳	**۲۱۹/۹۸	**۵۴/۶۶	ns۱/۶۷	*۴/۹۶	*۳۹/۰۸	**۰/۹۹۳	ns۱/۶۷
نوع خاک	۱	ns۰/۰۰۰۰	*۱۱/۶۵	ns۳/۴۳	ns۰/۱۶	**۰/۲۸	ns۲/۱۱	**۰/۰۰۲	ns۰/۱۶
پش تیمار× نوع خاک	۳	*۰/۰۰۰۲	ns۴/۸۲	ns۰/۹۸	ns۰/۰۳	ns۰/۰۹	ns۱/۰۵	*۰/۰۰۰۳	ns۰/۰۳
خطا	۱۶	۰/۰۰۰۰	۱/۷۶	۰/۸۵	۰/۰۳	۲/۶۸	۰/۶۴	۰/۰۰۰۷	۰/۰۳
ضریب تغییرات (٪)		۶/۲۵	۶/۳۷	۷/۶۵	۱۳/۹۹	۳۳/۴۱	۷/۴۶	۲۰/۰	۱۳/۹۹

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

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر ساده تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر بر خصوصیات مورفولوژیکی نشا و میزان مقادیر عناصر در بخش‌های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی

پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی	بخش هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی								بخش ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی	
	وزن								طول	
	تر		طول		مقدارکل				وزن	
	گرم	خشک	تر	خشک	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	روی	تر	خشک
	b۱۹/۱۳		سانتی متر		میلی‌گرم در کیلوگرم				گرم		سانتی متر	
شاهد	۲۵/۸۸a	۱۰/۴۹b	۱۹/۲۰b	۱۱/۹۳b	۱/۰۹c	۱/۳۹c	۰/۲۷a	۳۳/۲۴c	۱/۶۴c	۰/۸۱c	۲/۲۵b	۱/۴۲b
۶ ساعت	۱۴/۱۴d	۱۴/۵۰a	۲۵/۹۳a	۱۴/۳۶a	۱/۱۲bc	۱/۶۵b	۰/۲۶a	۶۴/۰۵b	۳/۵۳a	۱/۹۹a	۳/۵۴a	۱/۹۴a
۱۲ ساعت	۱۵/۱۹c	۸/۹۸d	۱۳/۷۱d	۹/۱۸c	۱/۱۶a	۱/۷۱a	۰/۲۰b	۶۳/۷۸b	۱/۹۰bc	۱/۱۷b	۱/۹۰c	۱/۱۵c
۲۴ ساعت												

در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

ادامه جدول ٦- مقایسه میانگین اثر ساده تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر بر خصوصیات مورفولوژیکی نشا و میزان مقادیر عناصر در بخش‌های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی

پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی	بخش ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی						
	مقدار کل						
	نسبت وزن تر ریشه به ساقه	وزن تر کل نشا	وزن خشک کل نشا	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	روی
	درصد	گرم		میلی‌گرم در کیلوگرم			
شاهد	۰/۰۹c	۲۰/۷۷b	۱۱/۳۰b	۱/۰۴a	۰/۴۹a	۰/۱۶a	۹۷/۹۱c
۶ ساعت	۰/۱۳۸ a	۲۹/۴۲a	۱۶/۵۱a	۰/۶۹a	۰/۴۸ab	۰/۱۳۲ab	۱۱۱/۷۰bc
۱۲ ساعت	۰/۱۳۳ b	۱۶/۰۴c	۱۰/۱۶bc	۰/۶۲a	۰/۴۸ab	۰/۱۳۵a	۱۲۲/۰۶b
۲۴ ساعت	۰/۱۳۰b	۱۷/۱۸c	۱۰/۲۱c	۲/۵a	۰/۴۳b	۰/۱۰b	۲۰۷/۳۳a

در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر ساده تأثیر نوع خاک بر خصوصیات مورفولوژیکی نشا و میزان مقادیر عناصر در بخش‌های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی

نوع خاک	بخش هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی						بخش ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی					
	وزن		طول	مقدارکل			وزن		طول	مقدار کل		
	تر	خشک	تر	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	روی	تر	خشک	تر	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	روی
	گرم		سانتی متر	میلی‌گرم در کیلوگرم			گرم		سانتی متر	میلی‌گرم در کیلوگرم				
خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$)	۱۷/۹۵a	۱۰/۵۱a	۱۷/۸۲b	۱۱/۱۹a	۱/۱۰b	۱/۵۷b	۰/۲۲b	۶۰/۵۸b	۲/۲۰a	۱/۱۵a	۲/۲۹b	۱/۱۳b	۱/۱۲b	۰/۴۴b	۰/۱۲a	۱۲۳/۰۶b
خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$)	۱۹/۲۲a	۱۱/۱۰a	۱۹/۲۳a	۱۱/۲۳a	۱/۱۷a	۱/۶۶a	۰/۲۶a	۶۴/۳۸a	۲/۳۲a	۱/۳۲a	۲/۵۷a	۱/۵۴a	۱/۳۴a	۰/۵۱a	۰/۱۴a	۱۴۶/۴۴a

در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

ادامه جدول ۸- مقایسه میانگین اثر ساده تأثیر نوع خاک بر خصوصیات مورفولوژیکی نشا و میزان مقادیر عناصر در بخش‌های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی

نوع خاک	نسبت وزن تر ریشه به ساقه	وزن تر کل نشا	وزن خشک کل نشا
	درصد	گرم	
خاک با کمبود روی ($Zn<2mgkg^{-1}$)	۰/۱۲۱a	۲۰/۱۵b	۱۱/۶۷a
خاک بدون کمبود روی ($Zn>2mgkg^{-1}$)	۰/۱۲۳a	۲۱/۵۵a	۱۲/۴۲a

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر و نوع خاک بر خصوصیات مورفولوژیکی نشا و میزان مقادیر عناصر در بخش های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی

تیمار	بخش هوایی گیاهچه برنج رقم هاشمی			بخش ریشه گیاهچه برنج رقم هاشمی			مقدار کل روی
	وزن		طول	مقدارکل روی	وزن	طول	
	تر	خشک	تر		تر	خشک	تر
	گرم		سانتی متر	میلی‌گرم در کیلوگرم	گرم		سانتی متر
T1S1	۱۱/۴۱b	۲۱/۱۰b	۲۱/۹۱b	۳۴/۴۳d	۱/۷۴a	۲/۷۰b	۰/۸۵cd۱/۷۰bc
T2S1	۱۴/۵۱a	۲۶/۲۴a	۲۶/۵۲a	۶۴/۹۳c	۲/۰۱a	۳/۵۸a	۲/۰۱a ۳/۵۸a
T3S1	۹/۰۸c	۱۴/۲۷d	۱۴/۲۷de	۶۴/۹۳c	۱/۳۴b	۱/۹۴c	۱/۳۴b ۱/۹۳bc
T4S1	۹/۴۱c	۱۵/۲۸d	۱۵/۲۸cd	۹۳/۲۳a	۱/۰۸bc	۲/۰۷c	۱/۰۹bc ۲/۰۷b
T1S2	۹/۵۷c	۱۷/۳۰c	۱۷/۱۶c	۱۱/۹۶b	۰/۷۷d	۱/۵۸c	۱/۱۰bc ۱/۸۰c
T2S2	۱۴/۵۰a	۲۵/۶۲a	۲۵/۵۳a	۶۳/۱۷c	۱/۹۸a	۳/۴۶a	۱/۸۷a ۳/۵۱a
T3S2	۸/۸۸c	۱۳/۱۵e	۱۴/۰۱d	۶۲/۶۴c	۱/۰۲cd	۱/۸۷bc	۰/۹۷c ۱/۸۷c
T4S2	۹/۰۸c	۱۵/۲۲d	۱۵/۱۱d	۸۴/۴۵b	۰/۸۵cd	۱/۸۸bc	۰/۵۹d ۱/۹۸c

۱۰۲/۹۰ce
۱۲۲/۷۷c
۱۲۶/۵۳c
۲۳۳/۵۷a
۹۲/۹۱e
۱۲۱/۳۶c
۹۶/۸۷e
۱۸۱/۱۰d

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 بدون پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی یا شاهد، پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ٦ ساعت، پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ۱۲ ساعت و پیش تیمار بذر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت ٢٤ ساعت؛ در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

ادامه جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل تأثیر سطوح مختلف پیش تیمار بذر و نوع خاک بر خصوصیات مورفولوژیکی نشا و میزان مقادیر عناصر در بخش‌های مختلف گیاهچه برنج رقم هاشمی

تیمار	نسبت وزن تر ریشه به ساقه	وزن تر کل نشا	وزن خشک کل نشا
	درصد	گرم	
T1S1	۰/۰۸c	۲۲/۸۱b	۱۲/۲۶b
T2S1	۰/۱۴a	۲۹/۸۳a	۱۶/۵۳a
T3S1	۰/۱۳۶a	۱۶/۲۱d	۱۰/۴۲c
T4S1	۰/۱۳۶a	۱۷/۳۶cd	۱۰/۴۹c
T1S2	۰/۰۹c	۱۸/۷۴c	۱۰/۳۴c
T2S2	۰/۱۳۶a	۲۹/۰۱a	۱۶/۴۸a
T3S2	۰/۱۳ab	۱۵/۸۸d	۹/۹۱c
T4S2	۰/۱۲۳b	۱۶/۹۹cd	۹/۹۴c

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که علی‌رغم این‌که روش پیش تیمار بذور برنج با محلول حاوی روی بسیار ساده، سریع و ارزان می‌باشد ولی اثرات موثری در افزایش میزان روی در بذر (تا بیش از ۱۷ برابر در مقایسه با شاهد) داشته و این ذخیره تأثیر خود را بر رشد و نمو ریشه چه و ساقه چه و افزایش طول آنها نشان می‌دهد. این روند در تولید گیاهچه برنج یکنواخت با ریشه و اندام هوایی قوی‌تر از نظر وزن و طول نشان داده و سبب شده است تا به‌طور متوسط تا ۲۰ درصد عملکرد بهتر این صفات را شاهد باشیم. از طرف دیگر انتقال عنصر روی ذخیره‌شده در بذر به گیاهچه برنج نیز بسیار چشمگیر بوده و افزایشی در حدود ۲ برابر در مقایسه با شاهد را در هر دو خاک با و بدون کمبود به ثبت رسانده است. با توجه به نتایج این پژوهش، پیش تیمار بدر با محلول ۵ در هزار سولفات روی به مدت شش ساعت می‌تواند بعنوان یکی از روش‌های موثر مصرف عناصر کم‌مصرف در کنار سایر روش‌های مصرف کودهای کم مصرف برای تولید گیاهچه قوی توسط شالیکاران مورد استفاده قرارگیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

اخگری حسن؛ اصفهانی مسعود؛ محسن آبادی غلام رضا و اعلمی علی (۱۳۹۶). اثر پرایمینگ 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).

اخگری، حسن. و کاویانی، بهزاد (۱۳۹۸). اثر پرایمینگ بر بنیه بذر و گیاهچه دو رقم برنج (*Oryza sativa* L.). *علوم و فناوری بذر ایران*. دوره ۸. شماره ۱. صفحات ۱ تا ۱۷. (اخگری و کاویانی، ۱۳۹۸).

آخوندی، مهدی؛ صفرنژاد، عباس و لاهوتی، مهرداد (۱۳۸۵). اثر تنش خشکی تجمع پرولین و تغییرات عناصر در یونجه‌های نیک شهری، یزدی و رنجر. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۸، ۱۷۴-۱۶۵.(آخوندی و همکاران، ۱۳۸۵).

سلطانی، افشین و مداح، وحید (۱۳۸۹). *برنامه‌های کاربردی ساده برای آموزش و پژوهش در زراعت*. انتشارات انجمن علمی بوم‌شناختی دانشگاه شهید بهشتی.(سلطانی و مداح، ۱۳۹۸).

لطیفی، سید علی و امیدی، حشمت (۱۳۹۸). اثر پرایمینگ بر خصوصیات جوانه زنی بذر و گیاهچه برنج رقم عنبر بو، تحت تنش کم آبی. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، (۴)۱۱، ۲۱-۵. (لطیفی و امیدی، ۱۳۹۸).

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، ۲۰۸۰-۲۰۶۵. (محمود سلطانی، ۱۳۹۹).

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

نظری، شهرام؛ حسینی چالشتری، مریم و اله قلی پور، مهرداد (۱۴۰۰). اثر پرایمینگ 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

Adhikary, S., Biswas, B., Chakraborty, D., Timsina, J., Pal, S., Chandra Tarafdar, J., & Roy, S. (2022). Seed priming with selenium and zinc nanoparticles modifies germination, growth, and yield of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Scientific Reports*, *12*(1), 7103.

Akhgari, H., & Kaviani, B. (2019). Effect of priming on seed and plantlet vigor of two cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology*, *8*(1), 1-17. (In Persian).

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).

Akhondi, M., Safarnejad, A., & Lahouti, M. (2006). Effect of drought stress on proline accumulation and mineral nutrients change in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *JWSS-Isfahan University of Technology*, *10*(1), 165-175. (In Persian).

Ali, L. G., Nulit, R., Ibrahim, M. H., & Yien, C. Y. S. (2021). Efficacy of KNO3, SiO2 and SA priming for

improving emergence, seedling growth and antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa*), under drought. *Scientific Reports*, *11*(1), 1-11.

Ancy, L.U., & STANLY, N. (2022). Effect of nutripriming treatments on growth parameters of seedlings in tray nursery of rice: Effect of nutripriming on tray nursery of rice. Journal of AgriSearch, 9(1), 59-62.

Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2005). Pre-sowing seed treatment—A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*, *88*, 223-271.

Attar, B., Uygur, V., & Sukuşu, E. (2020). Effects of priming with Copper, Zinc and Phosphorus on seed and seedling composition in Wheat and Barley. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, *7*(1), 104-111.

Basra, S. M. A., Farooq, M., Tabassam, R., & Ahmad, N. (2005). Physiological and biochemical aspects of pre-sowing seed treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology*, *33*(3), 623-628.

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

Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. Methods of soil analysis: Book part 2 chemical and microbiological properties, 9, 1149-1178.

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, *173*(4), 677-702.

Brown, P. R., Tuan, V. V., Nhan, D. K., Dung, L. C., & Ward, J. (2018). Influence of livelihoods on climate change adaptation for smallholder farmers in the Mekong Delta Vietnam. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *16*(3), 255-271.

Cai, Y., Xu, W., Wang, M., Chen, W., Li, X., Li, Y., & Cai, Y. (2019). Mechanisms and uncertainties of Zn supply on regulating rice Cd uptake. *Environmental Pollution*, *253*, 959-965.

Campbell, C. R., & Plank, C. O. (1998). Preparation of plant tissue for laboratory analysis. *Methods for Plant Analysis*, *37*.

Chen, J., Dou, R., Yang, Z., You, T., Gao, X., & Wang, L. (2018). Phytotoxicity and bioaccumulation of zinc oxide nanoparticles in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, *130*, 604-612.

Depar, N., Rajpar, I., Memon, M. Y., & Imtiaz, M. (2011). Mineral nutrient densities in some domestic and exotic rice genotypes. *Pakistan Journal of Agriculture: Agricultural Engineering Veterinary Sciences (Pakistan)*.

Dobermann, A. and Fairhurst, T. (2000). *Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management*. Handbook Series, Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute, Philippine, 191.

Du, B., Luo, H., He, L., Zheng, L., Liu, Y., Mo, Z., Pan, S., Tian, H., Duan, M., & Tang, X. (2019). Rice seed priming with sodium selenate: Effects on germination, seedling growth, and biochemical attributes. *Scientific Reports*, 9(1), 4311.

Esper Neto, M., Britt, D. W., Lara, L. M., Cartwright, A., dos Santos, R. F., Inoue, T. T., & Batista, M. A. (2020). Initial development of corn seedlings after seed priming with nanoscale synthetic zinc oxide. *Agronomy*, *10*(2), 307.

Faizan, M., Faraz, A., Yusuf, M., Khan, S. T., & Hayat, S. (2018). Zinc oxide nanoparticle-mediated changes in photosynthetic efficiency and antioxidant system of tomato plants. *Photosynthetica*, *56*, 678-686.

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

Farooq, M., Basra, S. M. A., Khalid, M., Tabassum, R., & Mahmood, T. (2006). Nutrient homeostasis, metabolism of reserves, and seedling vigor as affected by seed priming in coarse rice. *Botany*, *84*(8), 1196-1202.

Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Khaliq, A., & Kobayashi, N. (2010). Rice seed invigoration: a review. Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants: Organic farming, pest control and remediation of soil pollutants, 137-175.

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 1. Methods of soil analysis: Book part 1—physical and mineralogical methods, (methodsofsoilan1).

Guha, T., Mukherjee, A., & Kundu, R. (2021). Nano-scale zero valent iron (nZVI) priming enhances yield, alters mineral distribution and grain nutrient content of *Oryza sativa* L. cv. Gobindobhog: a field study. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-24.

Harris, D. (2006). Development and testing of "On-Farm" seed priming. *Advances in Agronomy*, *90*, 129-178.

Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M., & Shah, H. (2007). 'On-farm'seed priming with zinc sulphate

solution—A cost-effective way to increase the maize yields of resource-poor farmers. *Field Crops Research*, *102*(2), 119-127.

Ibrahim, E. A. (2016). Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of Plant Physiology*, *192*, 38-46.

Imran, M., Mahmood, A., Römheld, V., & Neumann, G. (2013). Nutrient seed priming improves seedling development of maize exposed to low root zone temperatures during early growth. *European Journal of Agronomy*, *49*, 141-148.

Imran, M., Neumann, G., & Römheld, V. (2004). Nutrient seed priming improves germination rate and seedling growth under submergence stress at low temperature. International Research on Food Security. *Natural Resource Management and Rural Development Cuvillier Verlag Göttingen*. 356-360.

International Rice Research Institute (IRRI). 2020. *International Rice Research Institute*. Available online: http://www.irri.org.

Johnson, S. E., Lauren, J. G., Welch, R. M., & 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), 427-448.

Latifi, S.A. & Omidi, H. (2020). Effect of priming on seed germination and rice seedling characteristics of Anbar Boo cultivar, under water deficit stress. *Scientific Journal of Crop Physiology, 11(3)*, 5-21. (In Persian).

Li, Y., Liang, L., Li, W., Ashraf, U., Ma, L., Tang, X., ... & 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*(1), 1-19.

Li, Y., Zhang, Y., Shi, D., Liu, X., Qin, J., Ge, Q., ... & Xu, J. (2013). Spatial-temporal analysis of zinc homeostasis reveals the response mechanisms to acute zinc deficiency in Sorghum bicolor. *New Phytologist*, *200*(4), 1102-1115.

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), 421-428.

Mahmoudsoltani, 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. *Iran J Soil Water Res*, *51*(8), pp.2065-2083.

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

Mahmoudsoltani, S. and Poorsafar Tabalvandi, A. 2021. *Nutripriming with micronutrients. Growth Improvement and grain biofortification*. Technical bultein. Rice Research Institute of Iran. 46 Pp.

Mahmoud Soltani, S., Hossieni Chaleshtori, M., Tajaddodi Talab, K., Shokri Vahed, H. and 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.

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

Moghaddasi, S., Fotovat, A., Karimzadeh, F., Khazaei, H. R., Khorassani, R., & Lakzian, A. (2017). Effects of coated and non-coated ZnO nano particles on cucumber seedlings grown in gel chamber. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *63*(8), 1108-1120.

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).

Olsen, S. R., & Dean, L. A. (1965). Phosphorus. Chemical and microbiological properties. *Methods of Soil Analysis, Part*, *2*, 1035-1048.

Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., ... & Cakmak, I. (2006). Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia plantarum*, *128*(1), 144-152.

Razak, U. N. A. A., Ong, C. B., Yu, T. S., & Lau, L. K. (2014). In vitro micropropagation of *Stevia rebaudiana* Bertoni in Malaysia. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *57*, 23-28.

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

Roriz, M., Carvalho, S. M., & Vasconcelos, M. W. (2014). High relative air humidity influences mineral accumulation and growth in iron deficient soybean plants. *Frontiers in Plant Science*, *5*, 726.

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.

Sarkar, R. K., Chakraborty, K., Chattopadhyay, K., Ray, S., Panda, D., & Ismail, A. M. (2019). Responses of rice to individual and combined stresses of flooding and salinity. In *Advances in rice research for abiotic stress tolerance*, 281-297. Woodhead Publishing.

Sharma, A. D., Rathore, S. V. S., Srinivasan, K., & Tyagi, R. K. (2014). Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (Abelmoschus esculentus L. Moench). *Scientia horticulturae*, *165*, 75-81.

Shivankar, R. S., Deore, D. B., & Zode, N. G. (2003). Effect of pre-sowing seed treatment on establishment and seed yield of sunflower. *Journal of Oilseeds Research.*, *20*, 299-300.

Silveira, V. C. D., Oliveira, A. P. D., Sperotto, R. A., Espindola, L. S., Amaral, L., Dias, J. F., ... & Fett, J. P. (2007). Influence of iron on mineral status of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *19*, 127-139.

Singh, M. V. (2007). Efficiency of seed treatment for ameliorating zinc deficiency in crops. *Zinc crops*, 24-26.

Sivritepe, N., Sivritepe, H. O., & Eris, A. (2003). The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. *Scientia horticulturae*, *97*(3-4), 229-237.

Soltani, A. & Maddah, V. (2010). *Simple, Applied Programs for Education and Research in Agronomy*. Iran Scientific Society of Agroecology. Tehran. (In Persian). (In Persian).

Thomas, G. W. (1982). Exchangeable cations. Methods of soil analysis. *Agronomy Monograph, Methods of Soil Analysis, Part*, *2*.

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.

Varier, A., Vari, A. K., & Dadlani, M. (2010). The subcellular basis of seed priming. *Current Science*, 450-456.

Veena, M., & Puthur, J. T. (2022). Seed nutripriming with zinc is an apt tool to alleviate malnutrition. *Environmental Geochemistry and Health*, *44*(8), 2355-2373.

Von Grebmer, K., Bernstein, J., Hossain, N., Brown, T., Prasai, N., Yohannes, Y., ... & Foley, C. (2017). *2017 Global Hunger Index: the inequalities of hunger (Report in Website)*. Intl Food Policy Res Inst.

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.

Wissuwa, M., Ismail, A. M., & Yanagihara, S. (2006). Effects of zinc deficiency on rice growth and genetic factors contributing to tolerance. *Plant Physiology*, *142*(2), 731-741.

Effect of Seed Priming with Zinc on Seed Germination Characteristics and Morphological Characters and Mineral Content of rice tissues of Hashemi Rice Cultivar

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Nutripriming of rice seeds with micronutrient (Zn) is considered to have the potential of optimizing Zn application, faster germination, and uniform seedlings' growth, better establishment of transplanted seedlings, higher grain yield, and nutritional quality.

Objectives:

The current experiments were designed and conducted to explore the effects of rice seeds nutripriming of with micronutrient (Zn) on macro and micronutrient content of primed seeds, morphological characteristics of rice seedlings and uptake of macro and micronutrients (N, P, K, Zn) for rice *cv.* 'Hashemi'.

Materials and Methods:

The current researches were carried out in three different experiments during 2021 rice growing season at the Rice Research Institute of Iran, Rasht, Iran. The first and the second experiment were done in laboratory conditions and the third experiment was done as a pot experiment based completely random design (CRD), CRD and randomized complete block (RCBD) design with three replications, respectively. The experimental factors of the two first experiments were: nutripriming with zinc sulfate ($5g.L^{-1}$) on 6, 12, and 24 hours, and control. For the third experiment the soil types at two levels (less and more than Zn critical level ($2\ mgkg^{-1}$) were added to previous factors. The measured characters were Zn, N, P, K content of seeds and diffrenet parts of rice seedlings, length of root and shoot, root and shoot wet and dry weights.

Results:

The highest increase in seed germination vigor index (2.9 times) ad reduction in germination dynamics or three germination fractions (t 10, t 50, and t 90) were recorded at nutripriming with zinc sulfate ($5g.\ L^{-1}$) for 12 hours compared to the control by about 2.28, 2.49, and 2.47 times, respectively. The maximum increase in Zn content of rice seeds (17.5 times) were observed at nutripriming with zinc sulfate ($5g.L^{-1}$) for 24 hours compared to the control. Also, the highest positive and significant increase in the root and shoot length recorded in seed nutripriming with zinc sulfate (5g.L-1) for 6 hours compared to the control by about 25.87 and 18.67%, respectively. The maximum significant and positive increase in root wet and dry weights of rice seedlings were found at about 24.36, 20.00, 38.23, and 38% compared to the control through nutripriming of seeds with zinc sulfate ($5g.L^{-1}$) for 6 hours in both soils with and without Zn deficiency, respectively. The highest significant effect on Zn content of shoot and root of rice seedlings were observed about 2.71, 2.91, 2.27, and 2.51 compared to the control through nutripriming of seeds with zinc sulfate ($5g.L^{-1}$) for 6 hours in soils with Zn deficiency and sufficiency, respectively.

Conclusion:

Nutripriming of rice seeds with zinc sulfate (5g.L-1) solution for 6 hours is an easy, quick and effective solution to remediate rice plant Zn requirment, improve seedlings quality and crop stablishment.

Keywords: Rice Seeds, Local Variety, Maximum Germination, Micronutrients, Macronutrients.