Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*Journal of Plant Production Research*

**Print ISSN: 2322-2050**
**Online ISSN: 2322-2778**

# The effect of zinc and phosphorus foliar application on morphological characters, grain yield and yield components, and grain quality of rice (Hashemi and Guilaneh cultivar)

**Shahram Mahmoud Soltani[*1], Mohammad Taghi Karbalai Agha Molki[2]**

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension, Rasht, Iran. E-mail: shmsoltani@gmail.com
2. Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension, Amol, Iran. E-mail: mtkarbalai2@yahoo.com

**Article Info**

**Article type:**
Full Length Research Paper

**Article history:**
Received: 01.16.2021
Revised: 08.14.2021
Accepted: 11.07.2021

**Keywords**:
Foliar spray,
Phosphorus,
Rice,
Zinc

**ABSTRACT**

**Background and Objectives:** Phosphorus (P) is the second most important macronutrients and zinc (Zn) is the most important micronutrients that their deficiency is the most important global nutrient disorder in the world paddy fields. The current field study was conducted to explain the effect of Zn and P foliar application on Zn and P content of rice grains and more broadly, grains bio-fortification (Zn and protein content).

**Materials and Methods:** The three factors factorial experiment was conducted in a completely randomized blocks design with three replications in 2017-2018 at research field of the rice research institute of Iran, Rasht. The experimental factors were: varieties at two levels (Hashemi (local) and Guilaneh (improved) varieties), Phosphorous at three levels and Zinc at three levels. Also, the experimental treatments were: 1- no zinc foliar application (control-tap water foliar application), 2- the foliar application of 0.5% zinc sulphate (22%) at the start of booting, 3- the foliar application of 0.5% zinc sulphate (22%) at the start of booting and the start of grain filling stages; 4- no P foliar application (control-tap water foliar application), 2- the foliar application of 0.5% P(mono potassium phosphate- laboratory brand) at the start of booting, 3- the foliar application of 0.5% P at the start of booting and the start of grain filling stages.

**Results:** The results of analysis of variance indicated that all the applied treatments and their interactions significantly influenced the morphological, yield and yield components, Zn and protein contents of rice grains. The results revealed that the foliar application of Zn and P the start of booting and grain filling stages increased panicle length in Hashemi (7%) and Guilaneh (12.94%) cultivars, filled and unfertile grain number of Guilaneh (35.23-6.40%) and Hashemi (40-35%) cultivars. Also, the foliar application of Zn and P (alone) increased the grain yield about 7 and 11.10%, respectively, and their application the start of booting and grain filling stages increased biological yield of Hashemi and Guilaneh cultivars about 19.22 and 25.98%, respectively. The highest content of grain Zn and protein content were recorded at by the start of booting and grain filling stages foliar application of Zn about 27 and 11 present, respectively.

**Conclusion:** It can be concluded that the foliar application of Zn and P at the start of booting and the start of grain filling stages might enhanced the studied rice cultivars yield and yield component and more broadly the grain quality.

Cite this article: Mahmoud Soltani, Shahram, Karbalai Agha Molki, Mohammad Taghi. 2022. The effect of zinc and phosphorus foliar application on morphological characters, grain yield and yield components, and grain quality of rice (Hashemi and Guilaneh cultivar). *Journal of Plant Production Research*, 29 (2), 35-57.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2022.18731.2765
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

# تأثیر محلول‌پاشی عناصر روی و فسفر بر صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت دانه برنج (ارقام هاشمی و گیلانه)

**شهرام محمود سلطانی*[۱]، محمدتقی کربلایی آقاملکی[۲]**

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

۲. استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران. رایانامه: mtkarbalai2@yahoo.com

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله کامل علمی- پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۳۹۹/۱۰/۲۷
**تاریخ ویرایش:** ۱۴۰۰/۰۵/۲۳
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰/۰۸/۱۶

**واژه‌های کلیدی:**
برنج،
روی،
فسفر،
محلول‌پاشی

**چکیده**

**سابقه و هدف:** پس از نیتروژن، فسفر دومین عنصر پرمصرف محدودکننده رشد و عملکرد و روی مهم‌ترین عنصر کم‌مصرف می‌باشند که اثرات ناشی از کمبود آن‌ها گسترده‌ترین و جدی‌ترین اختلالات تغذیه‌ای را در اراضی شالیزاری جهان ایجاد کرده و یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد در گیاه برنج است. پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر روی و فسفر بر صفات مورفولویک، عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت دانه برنج ارقام هاشمی (محلی) و گیلانه (اصلاح شده) انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** آزمایشی مزرعه‌ای دو ساله در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت اجرا شد. فاکتور(عامل)های آزمایشی عبارتند از: رقم به‌عنوان عامل اول در دو سطح (رقم محلی هاشمی و رقم اصلاح‌شده گیلانه)، عامل روی به‌عنوان عامل دوم در سه سطح (۱- عدم استفاده از کود روی (شاهد)، ۲- محلول‌پاشی ۵ در هزار روی از منبع سولفات روی ۲۲ درصد در مرحله شروع آبستنی، ۳- محلول‌پاشی ۵ در هزار روی در مرحله شروع آبستنی به‌همراه محلول‌پاشی روی در مرحله پرشدن دانه) و فسفر به‌عنوان عامل سوم در سه سطح (۱- عدم استفاده از کود فسفره (شاهد) ۲- محلول‌پاشی ۵ در هزار فسفر از منبع مونو فسفات پتاسیم آزمایشگاهی در مرحله شروع آبستنی ۳- محلول‌پاشی ۵ در هزار فسفر در مرحله شروع آبستنی و مرحله پر شدن دانه).

**نتایج:** محلول‌پاشی فسفر از بین خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده تنها بر وزن هزاردانه، شاخص برداشت و محتوای فسفر دانه تأثیر معنی‌دار نداشته است. اثر محلول‌پاشی روی بر بیش‌تر خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی، به‌جز وزن هزاردانه،

شاخص برداشت و محتوای فسفر دانه در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بوده است. محلول‌پاشی با روی پنج در هزار در مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه به همراه محلول‌پاشی با فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه به ترتیب باعث افزایش ۷/۰۰ و ۱۲/۹۴ درصدی طول خوشه در رقم گیلانه و هاشمی، افزایش ۳۵/۲۳، ۴۰/۰۰ درصدی دانه پر، ۶/۴۰ و ۳۵/۰۰ درصدی دانه پوک نسبت به شاهد، افزایش ۷/۰۰ و ۱۱/۱۰ درصدی عملکرد دانه و افزایش ۲۵/۹۸ درصد و ۱۹/۲۲ درصدی زیست‌توده در ارقام گیلانه و هاشمی شده است. بالاترین میزان پروتئین برنج سفید ثبت‌شده به ترتیب ۱۱ درصد برای رقم هاشمی و ۱۰/۶۷ درصد برای رقم گیلانه بوده که در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه به‌دست آمده و نسبت به شاهد به ترتیب ۳۲/۳۷ و ۳۸/۲۱ درصد افزایش داشته است.

**نتیجه‌گیری:** محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار (مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه) برترین تیمار برای صفات کمی و کیفی اندازه‌گیری شده هر دو رقم برنج هاشمی و گیلانه بود. نتایج هم‌چنین بر این نکته تأکید دارد که کاربرد عنصر روی مهم‌ترین عامل افزایش میزان روی و پروتئین در دانه هست. اگرچه رقم گیلانه به دلیل کودپذیری بیش‌تر تفاوت معنی‌داری با رقم هاشمی در صفات عملکردی از خود نشان داده است.

**استناد**: محمود سلطانی، شهرام، کربلایی آقاملکی، محمدتقی (۱۴۰۱). تأثیر محلول‌پاشی عناصر روی و فسفر بر صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت دانه برنج (ارقام هاشمی و گیلانه). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۹ (۲)، ۵۷-۳۵.
DOI: 10.22069/JOPP.2022.18731.2765

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

## مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) غذای اصلی نزدیک به سه میلیارد نفر از جمعیت جهان، به‌ویژه در کشورهای آسیایی و آفریقایی است که در آن‌ها بیش از ۹۰ درصد برنج تولیدی، مصرف نیز می‌شود. برنج ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین موردنیاز جمعیت‌های انسانی در کشورهای برنج‌خیز جهان را تأمین می‌کند (۱). برآوردهای سازمان خواروبار جهانی (فائو) نشان می‌دهد که برای تغذیه جمعیت رو به افزایش جهان، به ۷۶۰ میلیون تن شلتوک تا سال ۲۰۲۵ نیاز خواهد بود تا منبع مطمئن غذایی برای ساکنان کشورهای برنج‌خیز جهان تأمین گردد، این در حالی است که چشم‌اندازی برای افزایش سطح اراضی شالیزاری متصور نیست (۲). اگرچه پنج دهه گذشته عملکرد برنج دو جهش بزرگ (پیشرفت‌های ژنتیکی و به‌زراعی) را به خود دیده و در نتیجه میزان عملکرد دانه برنج به بیش از سه برابر افزایش یافته است، ولی نیاز به افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به‌ویژه برنج از یک طرف و ارتقای برخی از عناصر مهم (به‌ویژه فسفر و روی) به‌همراه افزایش پروتئین در بخش‌های خوراکی محصولات کشاورزی (کاه و دانه) هم‌چنان به‌طور غیرقابل انکاری از نگرانی‌های عمده پژوهش‌گران است (۳). اگرچه معرفی ارقام مقاوم و پرمحصول، آب آبیاری کافی برای تولید پایدار و اقتصادی برنج ضروری است ولی عدم توجه به نیاز غذایی به‌ویژه عناصر پرمصرف و کم‌مصرف حیاتی مانند روی و فسفر چالشی جدی در این مسیر است.

پس از نیتروژن، فسفر دومین عنصر پرمصرف محدودکننده رشد و عملکرد و روی مهم‌ترین عنصر کم‌مصرف می‌باشند که اثرات ناشی از کمبود آن‌ها گسترده‌ترین و جدی‌ترین اختلالات تغذیه‌ای را در اراضی شالیزاری جهان ایجاد کرده و یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد در گیاه برنج است. روی در تعداد زیادی از فرایندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه و سازوکارهای سوخت‌وساز آن از جمله فعال‌سازی ۳۰۰ آنزیم، ساخت پروتئین‌ها، متابولیسم‌های درگیر در تولید کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم لقاح (تشکیل دانه گرده) دخالت دارد (۴). فسفر نیز یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری موردنیاز گیاهان است که باعث افزایش رشد و قوی‌تر شدن ریشه‌ها، قوی و ضخیم شدن ساقه‌ها، پرحجم شدن دانه‌ها، افزایش میزان عملکرد و زودرسی محصول شده و در عمل تلقیح گل‌ها دخالت دارد (۵).

کاربرد کود روی در خاک‌های دارای کمبود این عنصر، یک راهبرد کلی برای مقابله با کمبود آن بوده و علاوه بر افزایش عملکرد دانه به افزایش غلظت روی در دانه نیز می‌انجامد. کودهای حاوی روی باید به‌نحوی مصرف شوند که سبب بیش‌ترین فراهمی روی برای جذب گیاه شوند. روش کاربرد و منابع روی باید به نحوی هدف‌گذاری شوند که بر بهبود فراهمی روی برای گیاه بیش‌ترین تأثیر را داشته باشند. روی را می‌توان به خاک، بذر و برگ افزود و هم‌چنین ریشه نشاهای برنج را در محلول حاوی کود روی غوطه‌ور نمود (۶).

اگرچه کاربرد خاکی عناصر در خاک‌های دارای کمبود، یک راه‌کار کلی، سریع و کم‌هزینه برای مقابله با کمبود آن‌ها بوده و علاوه بر افزایش عملکرد دانه به افزایش غلظت‌شان در دانه نیز می‌انجامد (۷)، ولی این رویکرد همیشه از دیدگاه اقتصادی مطلوب نبوده و ممکن است به مطالعات اصلاحی تکمیلی نیز نیاز داشته باشد. بنابراین، علاوه بر تامین مقدار روی و فسفر کافی، توجه به زمان مصرف و چگونگی مصرف منطبق با نیاز فیزیولوژیک گیاه و توزیع این عناصر در گیاه به عنوان منابع داخل بافتی این عناصر توجه به محلول پاشی آن‌ها را نیز در کانون توجه قرار می‌دهد.

محلول‌پاشی به‌عنوان یک مکمل برای کوددهی و روش مؤثر جهت ارتقای رشد گیاه و توان گیاهان زراعی به‌وسیله جذب سریع و سرعت بخشیدن به انتقال عناصر جذب‌شده از برگ‌ها به بافت‌های

مختلف هست. برادولی و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند که محلول‌پاشی عناصر غذایی در برخی موارد نتایج سریع‌تر و بهتری از کاربرد خاکی کودهای شیمیایی نشان می‌دهد و محلول‌پاشی محلول‌های کودی حاوی مقادیر مناسب عناصر موردنیاز گیاه بر روی سطح و زیر برگ‌های گیاه در حال رشد، می‌تواند منجر به جذب مناسب عناصر غذایی از طریق برگ شود (۸). کوماری و همکاران (۲۰۱۷) از روش محلول‌پاشی به‌عنوان مکملی برای تغذیه گیاه برنج یاد نمودند. هرگاه عنصر روی از طریق محلول‌پاشی مصرف شود به‌سرعت از طریق روزنه‌های برگ گیاه برنج جذب و از مسیر سیستم‌های آوندی به بافت‌های نیازمند منتقل می‌شود. مصرف عنصر روی از طریق محلول‌پاشی مؤثرترین روش اصلاح کمبود این عنصر و ارتقای کمی و کیفی دانه می‌باشد (۹). محلول‌پاشی روی (۵ در هزار سولفات روی) در شروع خوشه‌دهی در افزایش دو برابری میزان روی دانه و افزایش معنی‌دار عملکرد دانه مؤثر بود (۷، ۱۰ و ۱۱). چاکرالحسینی (۲۰۰۹) در بررسی تأثیر میزان، منبع و روش مصرف روی بر صفات کمی و کیفی برنج رقم چرام نشان داد که تمامی روش‌های مصرف و منابع کود روی بر عملکرد این رقم تأثیر داشته ولی بیش‌ترین اثر (افزایش بیش از ۵۰ درصدی) را در مصرف خاکی (۴۰ کیلوگرم در هکتار) و محلول‌پاشی سه در هزار سولفات روی به دست آورده است (۱۲). حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی تأثیر محلول‌پاشی کلات سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم شیرودی نشان داد که تیمار محلول‌پاشی کلات سولفات روی تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه، تعداد پنجه در مترمربع، تعداد خوشه چه در خوشه و درصد خوشه چه پر داشت. هم‌چنین بیش‌ترین وزن هزاردانه و پنجه در مترمربع و تعداد خوشه‌چه در خوشه در غلظت ۲ در هزار این منبع روی، به دست آمد (۱۳). 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 سولفات روی به‌دست آمده که نسبت به شاهد اول (محلول‌پاشی با آب مقطر) ۱۰/۱ درصد و نسبت به شاهد دوم (بدون محلول‌پاشی) ۱۱/۸ درصد بیش‌تر بود. هم‌چنین حداکثر مقدار روی دانه (۳۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شش گرم در لیتر سولفات روی به‌دست‌آمده که نسبت به شاهد اول ۱۶/۶ درصد و نسبت به شاهد دوم ۱۹/۵ درصد بیش‌تر بود (۱۴). محمود سلطانی و همکاران (۲۰۱۶، ۲۰۱۷، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰) نشان دادند که کاربرد کود سولفات روی نه‌تنها بر میزان پروتئین دانه مؤثر است بلکه بر میزان اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری نیز تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد. اگرچه مصرف روی به‌صورت محلول‌پاشی در تمام مراحل رشد بر کیفیت دانه (میزان روی و پروتئین) تأثیر افزایشی داشته ولی برای نتیجه بهتر باید محلول‌پاشی به زمان رسیدن دانه نزدیک‌تر باشد (محلول‌پاشی در زمان پرشدن دانه) (۱۰، ۱۱، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸). علی‌رغم مطالعات بسیار در خصوص تأثیر محلول‌پاشی روی بر گیاه برنج، مطالعات پژوهشی بسیار کمی در زمینه محلول‌پاشی فسفر و اثر متقابل فسفر و روی با توجه به اثر بازدارندگی این دو عنصر نسبت به هم انجام‌شده است؛ بنابراین پژوهش حاضر با اهداف افزایش عملکرد دانه و کاه در ارقام بومی (هاشمی) و اصلاح‌شده (گیلانه)، افزایش کیفیت دانه (میزان روی و پروتئین)، تعیین زمان مناسب محلول‌پاشی فسفر و روی برای ارقام بومی (هاشمی) و اصلاح‌شده (گیلانه) تدوین و اجراشده است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش مزرعه‌ای در طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت به‌صورت فاکتوریل (با سه عامل شامل روی، فسفر و رقم) در قالب طرح

بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام گردید. عامل‌های آزمایشی عبارت‌اند از: رقم به‌عنوان عامل اول در دو سطح (رقم محلی هاشمی و رقم اصلاح‌شده گیلانه)، عامل روی به‌عنوان عامل دوم در سه سطح (۱- عدم استفاده از کود روی (شاهد)، ۲- محلول‌پاشی ۵ در هزار روی از منبع سولفات روی ۲۲ درصد در مرحله شروع آبستنی، ۳- محلول‌پاشی ۵ در هزار روی در مرحله شروع آبستنی به همراه محلول‌پاشی روی در مرحله پرشدن دانه) و فسفر به‌عنوان عامل سوم در سه سطح (۱- عدم استفاده از کود فسفره (شاهد) ۲- محلول‌پاشی ۵ در هزار فسفر از منبع مونو فسفات پتاسیم آزمایشگاهی در مرحله شروع آبستنی ۳- محلول‌پاشی ۵ در هزار فسفر در مرحله شروع آبستنی و مرحله پر شدن دانه). بعد از عملیات شخم کرت‌هایی به ابعاد ۲۰ مترمربع (۴ متر × ۵ متر) با مرزبندی مشخص ایجاد و برای جلوگیری از تداخل تیمارهای کودی مرزها با پلاستیک پوشانده شدند. از کرت‌های آماده‌شده نمونه‌های خاک مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه گردید. نمونه‌های خاک در معرض هوا خشکانده شده و پس از عبور دادن از الک دو میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن¬ها مانند بافت خاک (رسی) اسیدیته عصاره اشباع (۷/۱۱)، ماده آلی (۱/۴ درصد)، گنجایش تبادل کاتیونی (۳۸ سانتی مول در کیلوگرم خاک)، فسفر قابل‌جذب (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، نیتروژن کل (۰/۱۳ درصد)، پتاسیم قابل‌استفاده (۱۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و روی قابل‌جذب (۲/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) اندازه‌گیری گردید. در این بررسی فسفر به مقدار ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر ($P_2O_5$) از منبع سوپر فسفات تریپل و پتاسیم نیز به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم ($K_2O$) در هکتار از منبع سولفات پتاسیم پیش از نشاکاری به کرت‌ها اضافه شد. کود نیتروژن به مقدار ۶۰ و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به‌ترتیب برای رقم هاشمی و گیلانه و در سه مرحله پیش از نشاکاری، در مرحله وجین‌کاری و در مرحله تشکیل جوانه اولیه خوشه به کرت‌ها داده شد. نشاهای یکدست ارقام هاشمی و گیلانه به فواصل ۲۰ در ۲۰ سانتی‌متر و سه گیاهچه در هر کپه کاشته و همه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش‌های توصیه‌شده توسط مؤسسه تحقیقات برنج کشور در همه کرت‌ها به‌صورت یکسان اعمال شد. به‌منظور یکسان‌سازی شرایط رطوبتی در تیمارهای که محلول‌پاشی در آن‌ها انجام نشده است (شاهد)، در این کرت‌ها فقط آب مقطر بر روی گیاه پاشیده شد. در این مرحله کالیبراسیون نیز صورت پذیرفته تا میزان حجم محلول مصرفی برای خیس شدن کل گیاهان داخل کرت را تعیین گردیده و سپس با اختلاط محلول آماده شده با آب به حجم موردنظر دست پیدا کنیم. در طول اجرای آزمایش صفات ریخت‌شناسی مانند تعداد کل پنجه و تعداد پنجه بارور، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، طول و عرض برگ پرچم (سانتی‌متر)، طول پدانکل و پنالتیمت (سانتی‌متر)، طول خوشه (سانتی‌متر) و صفات عملکردی (تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر و پوک در خوشه، وزن هزاردانه با درصد رطوبت ۱۴ درصد، عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد) اندازه‌گیری شدند. هم‌چنین هنگام برداشت، ده بوته تصادفی گزینش و غلظت روی و فسفر در دانه و میزان پروتئین دانه اندازه‌گیری گردید.

میزان روی در تمام اندام‌های گیاه اندازه‌گیری شد (برای این منظور از روش خاکستر خشک استفاده گردید. یک گرم از نمونه گیاه توزین و به کروزه چینی منتقل گردید. کروزه‌ها درون کوره به مدت شش ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شدند. سپس به هر کوزه ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریدریک افزوده شد و تا رویت بخار سفید روی آن‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد روی هات پلیت حرارت داده شد. سپس محلول درون هر کروزه به بالن ۵۰ میلی‌لیتری منتقل شد و با آب مقطر

به حجم رسانده شد. برای محاسبه روی در گیاه از دستگاه جذب اتمی استفاده شد. عصاره‌های حاصل از هضم گیاه مستقیماً برای اندازه‌گیری روی از شعله استیلن- هوا استفاده شد. دستگاه با استانداردهای ۱ و ۲ و ۳ میلی‌گرم بر لیتر روی کالیبره شد. نمونه‌ها به دستگاه داده شد و غلظت روی مستقیماً قرائت گردید) (۱۹). میزان پروتئین بر مبنای محاسبه مقدار نیتروژن موجود در دانه و ضرب عدد نیتروژن به‌دست آمده در عدد ثابت ۵/۹۵ برای رقم هاشمی (۲۰) محاسبه گردید. در طول مراحل گوناگون رشد گیاه برنج (حداکثر پنجه‌زنی، گلدهی و پرشدن دانه) محتوای فسفر اندام‌های مختلف مانند برگ، ساقه، خوشه به روش هضم تر و محتوای فسفر خاک نیز با روش اولسون و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (۲۱ و ۲۲) اندازه‌گیری شد.

پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌ها ابتدا از آزمون آماری کولموگرف-اسمیرونوف برای نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل مرکب دوساله داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین نیز با روش حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد با نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

**صفات ریخت‌شناسی:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از بین سه عامل اصلی تأثیر نوع رقم برنج بر تمام صفات اندازه‌گیری‌شده معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۱). بسیاری از صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد جزء صفات کمی بوده که عمدتاً توسط ژنتیک گیاه کنترل می‌شود بنابراین اختلافات ژنتیکی این ارقام می‌تواند علت تفاوت صفات مذکور باشد (۳). برنج رقم هاشمی که بیش‌ترین سطح کشت را در بین ارقام بومی در اراضی شالیزاری به خود اختصاص داده است جزء گروه ارقام محلی برنج با عملکرد و اجزای عملکرد پائین (متوسط عملکرد کم‌تر از ۴ تن در هکتار) و ارتفاع بوته بلند بوده که بسیاری از صفات مورفولوژیک آن تابعی از همین ارتفاع بوته بلند است. این در حالی است که رقم گیلانه که از تلاقی برگشتی بین دو رقم صالح و آبجی‌بوجی تولیدشده است با عملکرد دانه ۵/۵ تن در هکتار ضمن برتری نسبت به والدین خود و ارقام بومی جزء ارقامی است که از عملکرد و اجزای عملکرد مناسب‌تر و ارتفاع کوتاه‌تری نسبت به ارقام محلی برخوردار هست. االه‌قلی‌پور و همکاران (۲۰۱۶)، مانان و همکاران (۲۰۱۰) و موسوی و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مطالعاتشان بر تأثیر خصوصیات ژنتیکی ارقام بر بسیاری از صفات گیاه برنج تأکیددارند (۲۳، ۲۴ و ۲۵).

**ارتفاع بوته:** نتایج مندرج در جدول ۲ مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌های اصلی نشان داد که کاربرد تیمارهای روی و فسفر تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته ندارد. اگرچه در بین سطوح عامل اصلی روی، محلول‌پاشی با روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی به همراه محلول‌پاشی مرحله رسیدگی دانه (بالاترین سطح از تیمار روی) تنها ازنظر عددی (و نه معنی‌دار) به‌طور متوسط باعث افزایش ۵ درصدی ارتفاع بوته در ارقام هاشمی و گیلانه شد (جدول ۲). این در حالی است که هیچ‌یک از برهمکنش‌ها بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشتند. پژوهش‌گران بیان نمودند که افزایش ارتفاع بوته درنتیجه افزایش تقسیم و طویل شدگی سلولی در اثر کاربرد روی می‌باشد (۲۷). علاوه بر آن روی، یکی از عوامل مهم تأثیرگذار در فعالیت آنزیم تریپتوفان سینتتاز می‌باشد و با توجه به این‌که اسیدآمینه تریپتوفان به‌عنوان پیش‌ماده تولید اکسین عمل می‌کند، درنتیجه، با افزایش تولید اکسین و متعاقب آن افزایش رشد طولی ساقه و شاخ ساره‌ها دور از انتظار نخواهد بود. هم‌چنین گزارش‌شده است که کمبود روی به علت تأثیر منفی بر بیوسنتز اکسین می‌تواند باعث کاهش ارتفاع ساقه و عملکرد گیاه شود (۲۶).

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب (دوساله) صفات ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت دانه برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی فسفر و روی.

**Table 1. Combination Analysis of Variance of the morphological characters, yield and yield components of Hashemi and Guilaneh rice varieties affected by P and Zn and their interactions.**

| منابع تغییر Source of Variation | درجه آزادی df | میانگین مربعات Mean Square | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ارتفاع بوته Plant Height | طول خوشه Panicle Length | دانه پر Filled Grain | دانه پوک Unfilled Grain | وزن هزاردانه 1000 Grain Weight | عملکرد دانه Grain Yield | عملکرد زیست‌توده Biological Yield | شاخص برداشت Harvest Index | محتوای فسفر دانه Grain Phosphorus | محتوای روی دانه Grain Zinc | محتوای پروتئین دانه Grain Protein |
| سال Y | 1 | 11295.56$^{**}$ | 142.99$^{**}$ | 21050.56$^{**}$ | 2389.48$^{**}$ | 0.60$^{ns}$ | 1984.90$^{ns}$ | 123914.90$^{ns}$ | 2.96$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 0.11$^{ns}$ | 0.01$^{ns}$ |
| تکرار (سال) R(Y) | 4 | 243.16$^{**}$ | 1.58$^{*}$ | 16.73$^{ns}$ | 24.31$^{**}$ | 134.18$^{**}$ | 166923.18$^{*}$ | 353803.45$^{ns}$ | 9.51$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 3.25$^{ns}$ | 1.87$^{ns}$ |
| رقم V | 1 | 983.78$^{**}$ | 124.32$^{**}$ | 3186.11$^{**}$ | 1186.70$^{**}$ | 84.56$^{**}$ | 15117830.08$^{**}$ | 34506816.75$^{**}$ | 791450$^{**}$ | 0.00$^{ns}$ | 184.21$^{**}$ | 2.60$^{**}$ |
| فسفر P | 2 | 53.10$^{ns}$ | 4.46$^{**}$ | 1929.60$^{**}$ | 41.50$^{**}$ | 9.71$^{ns}$ | 609152.68$^{**}$ | 4778529.34$^{**}$ | 19.295$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 8.03$^{**}$ | 6.80$^{**}$ |
| روی Z | 2 | 253.00$^{*}$ | 21.59$^{**}$ | 4244.20$^{**}$ | 13.48$^{ns}$ | 4.70$^{ns}$ | 1571057.40$^{**}$ | 10889169.34$^{**}$ | 3.83$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 422.24$^{**}$ | 23.07$^{**}$ |
| سال در رقم Y*V | 2 | 231.15$^{ns}$ | 91.98$^{**}$ | 1653.13$^{**}$ | 137.81$^{**}$ | 14.25$^{*}$ | 505257.12$^{**}$ | 1585829.34$^{**}$ | 38.84$^{*}$ | 0.00$^{ns}$ | 0.25$^{ns}$ | 0.02$^{ns}$ |
| سال در فسفر Y*P | 2 | 137.67$^{ns}$ | 11.94$^{**}$ | 1614.13$^{**}$ | 57.62$^{**}$ | 5.46$^{ns}$ | 109140.45$^{ns}$ | 38290.34$^{**}$ | 11.56$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 0.03$^{ns}$ | 0.002$^{ns}$ |
| رقم در فسفر V*P | 2 | 38.07$^{ns}$ | 4.87$^{**}$ | 771.80$^{**}$ | 3.34$^{ns}$ | 3.95$^{ns}$ | 51354.25$^{ns}$ | 1376667.02$^{**}$ | 4.82$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 5.76$^{**}$ | 0.10$^{ns}$ |
| سال در رقم در فسفر Y*V*P | 2 | 28.54$^{ns}$ | 3.59$^{**}$ | 90.78$^{ns}$ | 20.89$^{*}$ | 2.16$^{ns}$ | 71192.40$^{ns}$ | 869784.62$^{*}$ | 5.30$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 0.19$^{ns}$ | 0.01$^{ns}$ |
| سال در روی Y*Z | 2 | 34.95$^{ns}$ | 3.44$^{**}$ | 392.74$^{**}$ | 70.07$^{**}$ | 3.87$^{ns}$ | 96545.18$^{ns}$ | 610013.79$^{*}$ | 8.33$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 0.15$^{ns}$ | 0.01$^{ns}$ |
| سال در روی V*Z | 2 | 27.40$^{ns}$ | 0.47$^{ns}$ | 77.22$^{ns}$ | 29.48$^{**}$ | 2.80$^{ns}$ | 14315.86$^{ns}$ | 163626.79$^{**}$ | 28.23$^{*}$ | 0.00$^{ns}$ | 26.24$^{**}$ | 0.27$^{**}$ |
| سال در رقم در روی Y*V*Z | 2 | 15.21$^{ns}$ | 2.85$^{**}$ | 0.80$^{ns}$ | 61.14$^{**}$ | 0.80$^{ns}$ | 18667.34$^{ns}$ | 72750.95$^{ns}$ | 3.82$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 0.14$^{ns}$ | 0.01$^{ns}$ |
| فسفر در روی P*Z | 4 | 25.96$^{ns}$ | 1.15$^{*}$ | 360.05$^{**}$ | 122.73$^{**}$ | 3.45$^{ns}$ | 31825.20$^{ns}$ | 246791.04$^{ns}$ | 5.60$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 8.22$^{**}$ | 0.006$^{**}$ |
| سال در فسفر در روی Y*P*Z | 4 | 15.6.2$^{ns}$ | 1.19$^{*}$ | 105.83$^{*}$ | 100.09$^{**}$ | 0.92$^{ns}$ | 15361.31$^{ns}$ | 90998.81$^{ns}$ | 2.24$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 0.40$^{ns}$ | 0.03$^{ns}$ |
| رقم در فسفر در روی V*P*Z | 4 | 22.47$^{ns}$ | 0.49$^{ns}$ | 197.97$^{**}$ | 50.54$^{**}$ | 1.77$^{ns}$ | 17499.44$^{ns}$ | 794295.56$^{**}$ | 5.77$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 7.17$^{ns}$ | 0.19$^{ns}$ |
| سال در رقم در فسفر در روی Y*V*P*Z | 4 | 20.03$^{ns}$ | 0.06$^{ns}$ | 112.27$^{*}$ | 55.56$^{**}$ | 1.24$^{ns}$ | 32418.70$^{ns}$ | 190518.15$^{ns}$ | 3.66$^{ns}$ | 0.00$^{ns}$ | 0.05$^{**}$ | 0.004$^{ns}$ |
| اشتباه آزمایش Error | 68 | 90.17 | 0.52 | 42.92 | 5.33 | 3.26 | 61136.70 | 186285.21 | 7.52 | 0.00 | 0.43 | 0.31 |
| ضریب تغییرات (درصد) CV% | | 7.42 | 2.85 | 5.92 | 17.41 | 7.53 | 6.28 | 4.63 | 6.47 | 2.84 | 2.00 | 7.89 |

$^{ns}$، $^{*}$ و $^{**}$ به ترتیب تفاوت غیرمعنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

$^{ns}$, * and ** No significant difference, significant difference in the probability level of 1 and 5%, respectively

**جدول ۲- مقایسه میانگین‌های تأثیر نوع رقم، محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی فسفر بر صفات ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم برنج (هاشمی و گیلانه).**

**Table 2. Mean comparison analysis of the P and Zn foliar application on some morphological characters, yield and yield components of two rice varieties (Hashemi and Guilaneh) varieties.**

| تیمارهای آزمایشی Treatments | سطوح تیمارها Treatment levels | میانگین مربعات Mean Square | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant Height (cm) | طول خوشه (سانتی‌متر) Panicle Length (cm) | دانه پر (عدد) Filled Grain (No.) | دانه پوک (عدد) Unfilled Grain (No.) | وزن هزاردانه (گرم) 1000 Grain Weight (g) | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain Yield ($kgha^{-1}$) | عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) Biological Yield ($kgha^{-1}$) | شاخص برداشت (درصد) Harvest Index (%) |
| فسفر P | ۱ 1 | $126.46^{a}$ | $25.02^{b}$ | $106.07^{b}$ | $14.00^{a}$ | $24.55^{a}$ | $3799^{b}$ | $8929^{c}$ | $42.20^{a}$ |
| | ۲ 2 | $128.34^{a}$ | $25.13^{a}$ | $106.51^{b}$ | $12.08^{b}$ | $24.86^{a}$ | $3943^{a}$ | $9353^{b}$ | $41.95^{a}$ |
| | ۳ 3 | $128.74^{a}$ | $25.67^{a}$ | $118.97^{a}$ | $12.75^{a}$ | $23.10^{b}$ | $4059^{a}$ | $9654^{a}$ | $41.89^{a}$ |
| روی Z | ۱ 1 | $125.29^{b}$ | $24.44^{c}$ | $100.08^{c}$ | $12.67^{b}$ | $23.68^{a}$ | $3740^{c}$ | $8700^{c}$ | $42.26^{a}$ |
| | ۲ 2 | $126.90^{ab}$ | $25.40^{b}$ | $109.72^{b}$ | $13.22^{ab}$ | $23.88^{a}$ | $3906^{b}$ | $9453^{b}$ | $42.07^{a}$ |
| | ۳ 3 | $131.24^{a}$ | $25.97^{a}$ | $121.75^{a}$ | $13.89^{a}$ | $24.38^{a}$ | $4155^{a}$ | $9778^{a}$ | $42.71^{a}$ |
| رقم V | رقم هاشمی H | $137.29^{a}$ | $26.35^{a}$ | $105.96^{b}$ | $9.57^{a}$ | $24.86^{a}$ | $3559^{b}$ | $8747^{b}$ | $40.21^{b}$ |
| | رقم گیلانه G | $118.31^{b}$ | $24.02^{b}$ | $115.94^{a}$ | $6.57^{b}$ | $23.09^{b}$ | $4308^{a}$ | 9877 | $44.39^{a}$ |

V، P، Z به ترتیب عبارت‌اند از نوع رقم، فسفر و روی؛ حروف مشابه در جدول تفاوت معنی‌دار ندارند؛ ۱، ۲ و ۳ به ترتیب عبارت‌اند از بودن محلول‌پاشی (محلول‌پاشی با آب)، محلول‌پاشی در مرحله شروع آبستنی و محلول‌پاشی در مرحله شروع آبستنی و مرحله شروع پر شدن دانه

V, P and Z are Varieties, Phosphorus and Zinc,; Similar letter had not a significant difference; 1, 2 and 3 are: No foliar application (tap water spray), Foliar application at the start of booting stage, and Foliar application at the start of booting stage with the foliar application at the start of the ripening stage

**جدول ۳- مقایسه میانگین‌های تأثیر اثر متقابل محلول‌پاشی روی و فسفر بر برخی صفات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی دو رقم برنج (هاشمی و گیلانه).**

**Table 3. Mean comparison analysis of the interactions of main factors (Varieties, Phosphorous and Zinc foliar application) on some morphological characters, yield and yield components of two rice varieties (Hashemi and Guilaneh).**

| عوامل آزمایشی Experimental Factors | | | صفات اندازه‌گیری شده برنج Rice Characters | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| رقم V | فسفر P | روی Z | دانه پر (عدد) Filled Grain (No.) | دانه پوک (عدد) Unfilled Grain (No.) | طول خوشه (سانتی‌متر) Panicle Length (cm) | عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) Biological Yield ($kgha^{-1}$) |
| 1 | 1 | 1 | $7.33^{j}$ | $85.97^{k}$ | $25.38^{cde}$ | $7933^{k}$ |
| 1 | 1 | 2 | $11.17^{efgh}$ | $100.90^{hi}$ | $26.79^{a}$ | $8470^{hij}$ |
| 1 | 1 | 3 | $12.50^{def}$ | $128.37^{g}$ | $27.20^{a}$ | $9053^{efg}$ |
| 1 | 2 | 1 | $9.17^{hij}$ | $92.13^{jk}$ | $25.06^{def}$ | $8045^{jk}$ |
| 1 | 2 | 2 | $9.17^{hij}$ | $104.00^{gh}$ | $26.40^{ab}$ | $8185^{ijk}$ |
| 1 | 2 | 3 | $8.33^{ij}$ | $108.20^{fgh}$ | $27.13^{a}$ | $9458^{de}$ |
| 1 | 3 | 1 | $9.67^{ghij}$ | $101.07^{hi}$ | $25.94^{bc}$ | $8777^{fgh}$ |
| 1 | 3 | 2 | $10.17^{fghi}$ | $108.87^{efg}$ | $26.62^{ab}$ | $9271^{de}$ |
| 1 | 3 | 3 | $12.00^{efg}$ | $116.26^{de}$ | $26.56^{ab}$ | $8531^{hi}$ |
| 2 | 1 | 1 | $13.33^{de}$ | $95.07^{ij}$ | $22.63^{g}$ | $8667^{gh}$ |
| 2 | 1 | 2 | $22.33^{a}$ | $107.67^{fghi}$ | $23.36^{g}$ | $9498^{cde}$ |
| 2 | 1 | 3 | $16.83^{bc}$ | $118.47^{cd}$ | $24.73^{def}$ | $9954^{bc}$ |
| 2 | 2 | 1 | $21.50^{a}$ | $106.70^{fgh}$ | $23.17^{g}$ | $9228^{def}$ |
| 2 | 2 | 2 | $12.33^{efg}$ | $112.27^{def}$ | $24.36^{f}$ | $10919^{a}$ |
| 2 | 2 | 3 | $11.67^{efgh}$ | $115.77^{de}$ | $24.64^{ef}$ | $10285^{b}$ |
| 2 | 3 | 1 | $15.00^{cd}$ | $119.53^{cd}$ | $24.47^{f}$ | $9584^{cd}$ |
| 2 | 3 | 2 | $17.67^{b}$ | $124.63^{bc}$ | $24.87^{def}$ | $10375^{b}$ |
| 2 | 3 | 3 | $18.00^{b}$ | $143.43^{a}$ | $25.56^{cd}$ | $10387^{b}$ |

V، P، Z به ترتیب عبارت‌اند از نوع رقم، فسفر و روی؛ حروف مشابه در جدول تفاوت معنی‌دار ندارند؛ ۱، ۲ و ۳ به ترتیب عبارت‌اند از بودن محلول‌پاشی (محلول‌پاشی با آب)، محلول‌پاشی در مرحله شروع آبستنی و محلول‌پاشی در مرحله شروع آبستنی و مرحله شروع پر شدن دانه

V, P and Z are Varieties, Phosphorus and Zinc,; Similar letter had not a significant difference; 1, 2 and 3 are: No foliar application (tap water spray), Foliar application at the start of booting stage, and Foliar application at the start of booting stage with the foliar application at the start of the ripening stage

**صفات مربوط به اجزای عملکرد**

**طول خوشه:** مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که عامل‌های رقم، روی و فسفر بر روی طول خوشه تأثیر معنی‌دار داشته است (جدول ۲). بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار در بین سطوح عامل روی مربوط به محلول‌پاشی با روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه (۲۵/۶۷ سانتی‌متر) در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی با روی) (۲۵/۰۲) و بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار در بین سطوح عامل فسفر مربوط به محلول‌پاشی با فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه (۲۵/۹۷ سانتی‌متر) در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی فسفر) (۲۴/۴۴ سانتی‌متر) به ثبت رسیده است. این میزان تأثیر به‌ترتیب معادل ۶/۲۶ و ۲/۵۹ درصد افزایش صفت طول خوشه است. هم‌چنین نتایج ناشی از برهمکنش

عامل‌های روی فسفر در رقم بر این صفات نشان می‌دهد که بالاترین افزایش طول در رقم هاشمی مربوط به محلول¬پاشی با روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه و محلول‌پاشی فسفر ۵ در هزار مرحله شروع آبستنی به‌میزان ۶/۸۹ درصد و در گیلانه مربوط به محلول‌پاشی روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه به همراه محلول‌پاشی روی و فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه و به میزان ۱۲/۹۰ درصد نسبت به شاهد می‌باشد. اگرچه طول خوشه به‌طور مستقیم در محاسبه عملکرد برنج نقشی ندارد، ولی به‌عنوان یکی از صفات ارزیابی عملکرد موردتوجه 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. در یک آزمایش با بررسی ۲۰ ژنوتیپ پرمحصول برنج گزارش شد که ارقام برنج دارای عملکرد بالا دارای طول خوشه زیاد، تعداد دانه پر بیش‌تر و ساقه‌های اصلی و فرعی طویل بودند (۲۸). گزارش شده است که طول خوشه برنج با مصرف ۳۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار افزایش می‌یابد (۲۹). در پژوهشی دیگر نیز گزارش شده است که بالاترین طول خوشه (۲۳/۷ سانتی‌متر) با مصرف ۱۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار به‌دست آمد (۳۰). در بررسی تأثیر محلول‌پاشی روی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در کشور مصر، گزارش شد که اگرچه حتی یک‌بارمصرف روی به‌صورت محلول‌پاشی بر طول خوشه مؤثر است، ولی بهترین تأثیر با سه بار محلول‌پاشی با غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد که باعث افزایشی در حدود ۲۲ درصد شد (۲۴). عباس و همکاران (۳۱) در بررسی تأثیر کاربرد متعادل فسفر و نیتروژن بر رشد و نمو، عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم NIA-20A نشان داد که با افزایش میزان فسفر طول خوشه نیز به‌طور معنی‌داری تا ۳۷ درصد افزایش‌یافته است. فاجریا و همکاران (۲۰۰۲ و ۲۰۱۱) نیز نشان دادند با افزودن ۱۷۳ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک و بهبود فراهمی آن برای گیاه برنج رقم BRS Jaburu می‌توان طول خوشه را تا ۲۵ درصد افزایش داد. لازم به ذکر است که حداکثر عملکرد نیز در این میزان فسفر به‌دست آمده است (۳۲ و ۵). یوسف تبار و همکاران (۳۳) نیز بر این‌که فسفر عامل مهمی برای رشد گیاه برنج بوده و پنجه‌زنی و گلدهی را در برنج تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، تأکید داشته و بیان داشتند که فراهمی فسفر در مرحله پنجه‌زنی و گلدهی گیاه ازجمله عوامل مهم بهبود رشد، عملکرد و اجزای عملکرد محسوب می‌شود. این تأثیر می‌تواند ناشی از افزایش فتوسنتز و جذب آسان‌تر این عنصر در شرایط دسترسی آسان‌تر گیاه به آن باشد (۳۱).

**وزن هزاردانه:** مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که تنها عامل رقم بر وزن هزاردانه تأثیر معنی‌دار داشت. علی‌رغم عدم معنی‌داری تأثیر عامل‌های اصلی فسفر و روی بر وزن هزاردانه، محلول‌پاشی با روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه (بالاترین سطح از تیمار کاربرد روی) تنها از نظر عددی باعث افزایش ۳ درصدی وزن هزاردانه شد (جدول ۲). هم‌چنین هیچ‌یک از برهمکنش‌ها نیز بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشتند. البته نتایج نشان داد که وزن هزاردانه رقم گیلانه نسبت به هاشمی بیش‌تر است که بیانگر تفاوت ژنتیکی این دو رقم است. بیش‌ترین مقدار وزن هزاردانه در هر دو رقم هاشمی و گیلانه مربوط به محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه

به‌ترتیب ۲۵ و ۲۷ گرم بود. در برنج، اغلب وزن هزاردانه ثابت است و از پایدارترین ویژگی‌های رقم به شمار می‌رود، زیرا رشد دانه در این گیاه با پوست آن محدود می‌شود. وزن هزاردانه به همراه چند جزء دیگر نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه ارقام جدید که دارای قابلیت تولید بالایی می‌باشند، دارند (۳۴). بااین‌وجود به نظر می‌رسد کاربرد سولفات روی تأثیر مثبتی بر وزن هزاردانه داشته و باعث افزایش در این صفت شده است. با افزایش مقدار کود سولفات روی، وزن هزاردانه برنج نیز بیش‌تر شد (۲۹). به نظر می‌رسد که افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف روی به دلیل افزایش مواد ذخیره‌شده و کاهش محدودیت منبع می‌باشد که موجب سرازیر شدن مواد پرورده به‌سمت دانه می‌گردد. سایر پژوهش‌گران نیز اثر مثبت کاربرد عنصر روی را بر افزایش وزن هزاردانه گزارش کرده‌اند که این افزایش به‌احتمال‌زیاد مربوط به تأثیر عنصر روی بر هورمون اسید ایندول استیک می‌باشد. هم‌چنین گزارش‌شده است که کمبود روی، موجب می‌گردد تا دانه‌های ضعیفی تشکیل گردد (۱۵ و ۱۸). در آزمایشی دیگر نیز بیش‌ترین وزن هزاردانه از مصرف ۱۰ کیلوگرم روی در هکتار به‌دست آمد (۳۵). هم‌چنین، پژوهش‌گران مهم‌ترین دلیل افزایش وزن هزاردانه 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 سولفات روی بر افزایش کارایی آوند آبکش در انتقال مواد غذایی به دانه و پر شدن آن از مهم‌ترین عوامل تأثیر سولفات روی بر افزایش وزن هزاردانه است (۳۶).

**تعداد دانه پر و پوک:** مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عامل‌های رقم، روی و فسفر روی تعداد دانه پر و پوک معنی‌دار است (جدول ۲). بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار در بین سطوح عامل روی مربوط به محلول‌پاشی با روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه (۱۲۱/۷۵ عدد) در مقایسه با شاهد (۱۰۰/۰۸ عدد) و بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار در بین سطوح عامل فسفر مربوط به محلول‌پاشی با فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه (۱۱۸/۹۷ عدد) در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی فسفر) (۱۰۶/۰۷ عدد) به ثبت رسیده است. این میزان تأثیر به ترتیب معادل ۲۰/۷۸ و ۱۲/۱۶ درصد افزایش تعداد دانه پر است. هم‌چنین نتایج ناشی از برهمکنش عامل‌های روی فسفر در رقم بر این صفات نشان می‌دهد که بالاترین افزایش تعداد دانه در رقم هاشمی و گیلانه مربوط به محلول‌پاشی با روی و فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه به ترتیب ۳۵/۲۳، ۵۰ درصدی دانه پر، ۶/۴۰ و ۳۵ درصدی دانه پوک نسبت به شاهد می‌باشد. بررسی رابطه عملکرد با بعضی از خصوصیات زراعی نشان داد که تعداد دانه پر در هر خوشه، تعداد خوشه در هر گیاه و وزن هزاردانه مهم‌ترین خصوصیات مؤثر بر عملکرد هستند. خان و همکاران (۲۰۰۲) و محمود سلطانی و همکاران (۲۰۱۶) و رام و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش‌هایی جداگانه بیان داشتند اگرچه کاربرد ترکیبی عنصر روی به‌صورت خاکی و محلول‌پاشی در شالیزاری سبب افزایش چشمگیر تعداد دانه پر می‌شود ولی محلول‌پاشی به‌تنهایی نیز به‌ویژه اگر در هنگام گل‌دهی و رسیدن دانه انجام شود به‌تنهایی می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشته باشد. این پژوهشگران دلیل این امر را به نقش کلیدی روی در تولید کلروفیل و درنتیجه محتوای کلروفیل بالاتر ارتباط دادند که می‌تواند به پر شدن دانه از طریق افزایش میزان مواد فتوسنتزی سرعت بخشد. افزایش کربوهیدرات‌های ناشی از فعالیت‌های فتوسنتز برای دوره طولانی ممکن

است باعث انتقال مؤثر مواد غذایی به غلاف (دانه) شود، درنتیجه تعداد دانه‌های پر را افزایش دهد (۳۵، ۱۷ و ۳۷).

فسفر نیز چون رشد و نمو ریشه را تحریک کرده و در استخراج بیش‌تر مواد غذایی از خاک، تحریک فرآیند فتوسنتز در گیاهان و افزایش پنجه‌زنی اولیه با افزایش بخش رویشی به جذب بیش‌تر فسفر و روی ناشی از محلول‌پاشی کمک شایانی نماید. مانی و صادقی (۲۰۱۲) در بررسی کاربرد هم‌زمان کود روی و فسفر بر روی گیاه برنج رقم هاشمی نشان داد که اثر فسفر و روی و اثر متقابل آن‌ها بر اجزای عملکرد گیاه برنج (تعداد دانه پر، طول خوشه و وزن خوشه) تأثیر معنی‌دار داشت. هم‌چنین رقم اصلاح‌شده گیلانه در مقایسه با رقم هاشمی به‌علت کودپذیری بیش‌تر زمانی بیش‌ترین تأثیر را می‌پذیرد که فسفر و روی به‌طور هم‌زمان مصرف شود (۳۸). محمودی و همکاران (۲۰۰۴) بیان داشتند که ارقام اصلاح‌شده در مقایسه با ارقام محلی به علت عملکرد بالاتر نسبت به کمبود عناصر غذایی حساس بوده و بهترین عملکرد را درزمانی به دست می‌دهند که همه عناصر در دسترس باشد (۳۹).

## صفات عملکردی

**عملکرد دانه:** نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده عامل‌های اصلی (جدول ۲) نشان داد که تمامی عامل‌ها (روی، فسفر و رقم) بر عملکرد دانه تأثیر مثبت و معنی‌دار داشت. بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار بر عملکرد دانه در بین سطوح عامل روی مربوط به محلول‌پاشی با روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه (۴۱۵۵ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد (۳۷۴۰ کیلوگرم در هکتار) است. هم‌چنین بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار در بین سطوح عامل فسفر مربوط به محلول‌پاشی با فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه (۴۰۵۹ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی فسفر) (۳۷۹۹ کیلوگرم در هکتار) به ثبت رسیده است که تفاوت معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی مرحله شروع آبستنی ندارد. این میزان تأثیر به ترتیب معادل ۷/۰ و ۱۱/۱ درصد افزایش عملکرد دانه تحت‌تأثیر کاربرد فسفر و روی است. نتایج مربوط به برهمکنش عامل‌های روی، فسفر و رقم بیانگر عدم تأثیر معنی‌دار اثرات متقابل این عامل‌ها بر صفت عملکرد دانه است. بااین‌حال بالاترین میزان عملکرد دانه ازنظر عددی (و نه معنی‌داری) در کاربرد توأمان تیمار محلول‌پاشی با روی و فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه به‌دست آمدند که به ترتیب ۴۱۰۰ کیلوگرم در هکتار برای رقم هاشمی و ۴۷۵۰ کیلوگرم در هکتار برای رقم گیلانه بوده که بیانگر اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود. روی نقش اصلی در فرآیند گرده‌افشانی، تشکیل اندام‌های زایشی نر و ماده و فرآیند تشکیل دانه دارد (۴۰). با بررسی اثرات میزان، منبع و روش مصرف کود روی بر صفات کمی و کیفی برنج رقم چرام گزارش‌شده که مصرف روی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد (۵۶/۹ درصد) شد و بیش‌ترین عملکرد با محلول‌پاشی سولفات روی (با غلظت سه گرم در لیتر) توأم با مصرف ۴۰ کیلوگرم سولفات روی در خاک، حاصل گردید (۱۲). پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش کردند که مصرف سولفات روی، ارتفاع بوته، طول خوشه، میزان پر شدن خوشه‌چه، وزن هزاردانه و درنهایت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. در یک آزمایش مزرعه‌ای که به‌منظور بررسی اثر کاربرد مجزا و ترکیبی عناصر روی، آهن و منگنز به دو صورت مصرف خاکی و محلول‌پاشی بر رشد و عملکرد برنج رقم ساخا ۱۰۱ در مصر انجام‌شده، نتایج نشان داده که

استفاده از عناصر کم‌مصرف به‌صورت مجزا یا ترکیبی افزایش قابل‌توجهی بر رشد برنج داشته و کاربرد ترکیبی عناصر روی، آهن و منگنز بیش‌ترین اثر مثبت را در گیاه، در هر دو روش مصرف خاکی و محلول‌پاشی داشت (۴۱).

میزان فراهمی فسفر در خاک می‌تواند بر واکنش گیاهان زراعی به مصرف کود فسفر مؤثر باشد. نتایج سایر پژوهش‌ها نشان داده است درصورتی‌که میزان فسفر خاک کم‌تر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک باشد، کاربرد کود فسفر تأثیر مطلوبی بر افزایش عملکرد گیاه برنج دارد (۲۶). اگرچه تعداد پژوهش‌هایی که بر کاربرد هم‌زمان محلول‌پاشی روی و فسفر کارکرده باشند بسیار نادر است، ولی به نظر می‌رسد فسفر به دلیل تحریک رشد و نمو ریشه و استخراج بیش‌تر مواد غذایی از خاک، تحریک فرآیند فتوسنتز در گیاهان و افزایش پنجه‌زنی اولیه با افزایش بخش رویشی به جذب بیش‌تر فسفر و روی ناشی از محلول‌پاشی کمک شایانی نماید. مافی و صادقی (۲۰۱۳) در بررسی کاربرد هم‌زمان کود روی و فسفر بر گیاه برنج رقم هاشمی نشان داد که اثر فسفر و روی و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد گیاه برنج تأثیر معنی‌دار داشت (۳۸). رحیم و همکاران (۲۰۱۴) با کاربرد هم‌زمان فسفر و روی بر روی رقم سوپر باسماتی نتیجه‌گیری نمودند که مصرف این کودها باعث افزایش عملکرد می‌شود (۴۲).

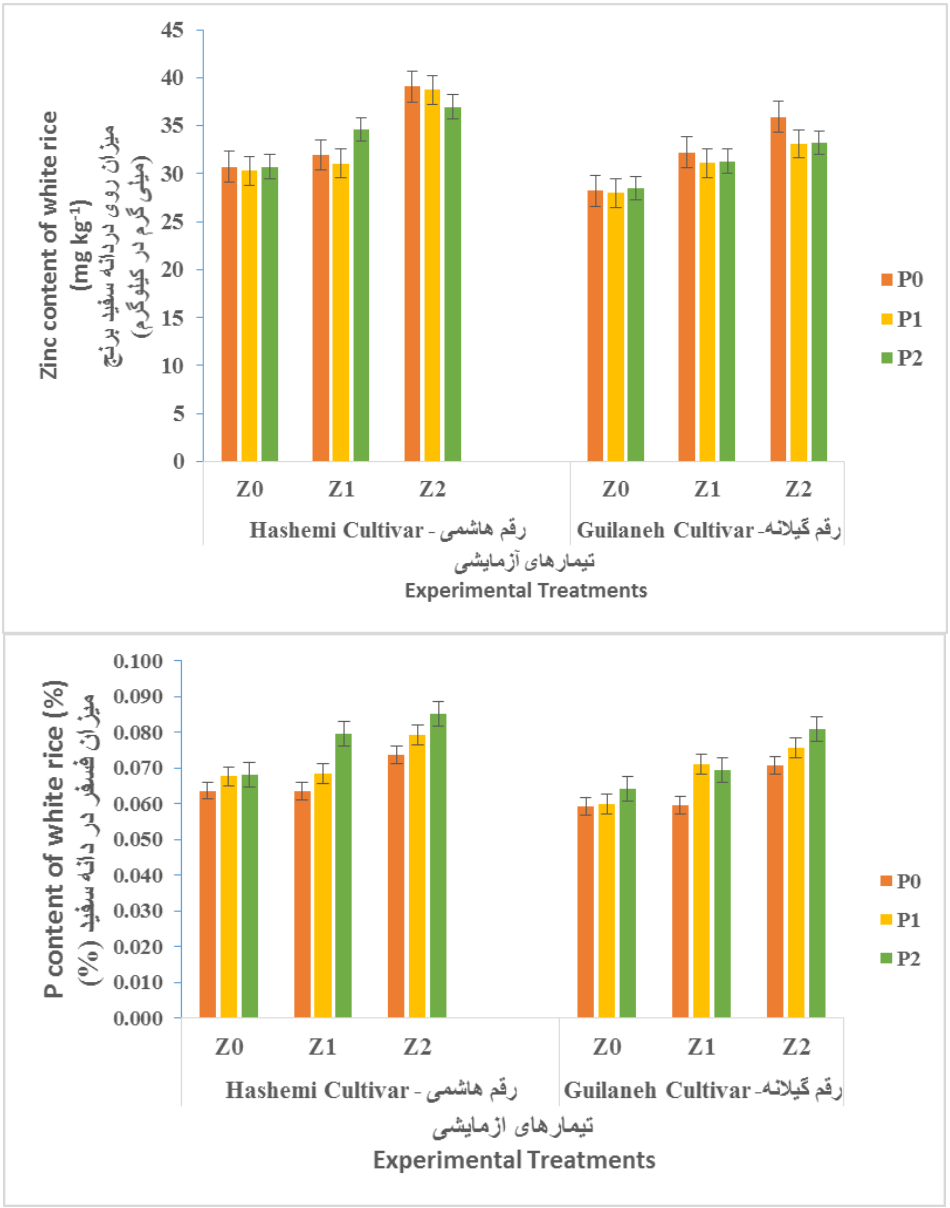
**عملکرد زیستی (زیست‌توده):** نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۲) نشان داد که تمامی عامل‌ها (روی، فسفر و رقم) بر عملکرد زیستی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشت. بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار بر عملکرد زیستی در بین سطوح عامل روی مربوط به محلول‌پاشی با روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه (۹۷۷۸ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد (۸۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) است. هم‌چنین بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار در بین سطوح عامل فسفر مربوط به محلول‌پاشی با فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه (۹۶۵۴ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی فسفر) (۸۹۲۹۹ کیلوگرم در هکتار) به ثبت رسیده است. این میزان تأثیر به ترتیب معادل ۹/۰ و ۱۲/۴ درصد افزایش عملکرد زیستی تحت‌تأثیر کاربرد فسفر و روی است. هم‌چنین نتایج بیانگر اختلاف ۱۲/۹ درصدی مقدار عملکرد زیستی بین رقم گیلانه و هاشمی می‌باشد که ناشی از کودپذیری بیش‌تر گیلانه (رقم اصلاح‌شده) (۹۸۷۷ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با هاشمی (رقم محلی) (۸۷۴۷ کیلوگرم در هکتار) است. هم‌چنین نتایج مربوط به اثر متقابل عامل‌های روی، فسفر و رقم نشان می‌دهد که در هر دو رقم هاشمی (۹۴۵۸ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با شاهد ۷۹۲۳ کیلوگرم در هکتار)، گیلانه (۱۰۹۱۹ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با شاهد ۸۶۶۷ کیلوگرم در هکتار) بیش‌ترین مقدار عملکرد زیست‌توده در محلول‌پاشی توأمان روی و فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی به ثبت رسیده (جدول ۳) که به‌طور میانگین در حدود ۲۲ درصد سبب افزایش عملکرد زیستی شده است. عملکرد زیستی تجمع ماده خشک در گیاه را نشان داده و عملکرد یک گیاه را می‌توان از طریق افزایش کل ماده خشک تولیدی در مزرعه بالا برد. (۴۳). عنصر روی میزان فتوسنتز و دوام سطح برگ را افزایش داد و درنتیجه میزان تولید مواد پرورده افزایش می‌یابد. شکری واحد (۲۰۰۸) در آزمایشی که در مؤسسه تحقیقات برنج کشور اجرا شد، نشان داد محلول‌پاشی کمپلکس عناصر کم‌مصرف با غلظت چهار در هزار، عملکرد دانه، کاه و زیست‌توده را نسبت به شاهد تا ۳۰ درصد افزایش داد (۴۴). ژو و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که مصرف سولفات روی، ارتفاع بوته، طول

خوشه، افزایش تعداد دانه‌های پر (پر شدن خوشه‌چه)، وزن هزاردانه و عملکرد دانه، کاه و زیست‌توده را افزایش داد. در خاک‌هایی که مشکل تثبیت و یا غیرقابل استفاده بودن عناصر ریزمغذی به‌خصوص روی وجود دارد، محلول‌پاشی برگی بهترین راه‌حل هست (۴۵) این یافته‌ها با نتایج سری واستاوا و همکاران (۲۰۱۴) در یک راستا قرار دارند. اگرچه تعداد پژوهش‌ها درباره کاربرد هم‌زمان محلول‌پاشی روی و فسفر، بسیار نادر است، ولی به‌نظر می‌رسد فسفر رشد و نمو ریشه را تحریک کرده و در استخراج بیشتر مواد غذایی از خاک، تحریک فرآیند فتوسنتز در گیاهان و افزایش پنجه‌زنی اولیه با افزایش بخش رویشی به جذب بیش‌تر فسفر و روی ناشی از محلول‌پاشی کمک شایانی نماید (۴۶). مافی و صادقی (۲۰۱۳) در بررسی کاربرد هم‌زمان کود روی و فسفر بر گیاه برنج رقم هاشمی نشان دادند که اثر فسفر و روی و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد گیاه برنج، وزن خوشه در گیاه، تعداد خوشه در مترمربع، شاخص برداشت و تعداد دانه پر در خوشه در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌دار داشت (۲۲). رحیم و همکاران (۲۰۱۴) با کاربرد هم‌زمان فسفر و روی بر روی رقم سوپر باسماتی، نتیجه‌گیری نمودند که مصرف این کودها باعث افزایش عملکرد کاه و دانه شد (۳۸).

**شاخص برداشت:** تنها نوع رقم بر روی شاخص برداشت تأثیر معنی‌دار داشت و دراین‌بین رقم گیلانه با شاخص برداشتی معادل ۴۴/۲۹ درصد نسبت به هاشمی با شاخص برداشت ۴۰/۳۱ درصدی، دارای ۱۰ درصد برتری است. هم‌چنین بررسی نتایج برهمکنش عامل‌های مورد آزمایش بیانگر این است که تنها برهمکنش رقم در روی مثبت و معنی‌دار بوده و نتایج مندرج در جدول ۲ نشان می‌دهد که مؤثرترین سطح در تیمار روی برای رقم هاشمی محلول‌پاشی با روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی (۴۱/۰۵ درصد) و برای رقم گیلانه محلول‌پاشی با روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی به همراه محلول‌پاشی با روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی دانه (۴۵/۲۱ درصد) به ثبت رسیده است. به احتمال زیاد این تفاوت به‌دلیل کودپذیری بیش‌تر برنج رقم گیلانه نسبت به هاشمی می‌باشد. شاخص برداشت بالا لازمه عملکرد بالاتر است، ولی شرط کافی رسیدن به عملکرد مطلوب نیست. عوامل کلیدی تعیین‌کننده شاخص برداشت، وزن خشک در زمان خوشه‌دهی و سرعت رشد محصول در مرحله خوشه‌دهی می‌باشد. معمولاً وزن خشک در مرحله خوشه‌دهی و سرعت رشد محصول در مرحله خوشه‌دهی باهم رابطه عکس‌دارند. شی وای و همکاران (۲۰۱۰)، سینگ و همکاران (۲۰۱۴) و کومار و همکاران (۲۰۲۰) بر این نکته تأکید کردند که با کاربرد عناصر کم‌مصرف به‌ویژه از طریق محلول‌پاشی سبب افزایش جذب این عناصر شده و درنتیجه سبب بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی و انتقال مجدد این عناصر در اندام‌های گیاه برنج و انتقال مؤثر آن‌ها به اندام‌های هدف (دانه) شده و نه‌تنها به عملکرد بیش‌تر می‌انجامد بلکه به تولید دانه با کیفیت بیش‌تر نیز می‌انجامد (۴۷، ۲۲ و ۴۸).

### صفات مربوط به کیفیت دانه

**غلظت روی و فسفر در برنج سفید:** نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به غلظت روی و فسفر در دانه برنج سفید نشان داد که تمام تیمارهای کاربردی در این آزمایش شامل محلول‌پاشی روی، فسفر و نوع رقم و برهم‌کنش آن‌ها بر غلظت روی در دانه برنج سفید ($P\leq ۰/۰۱$) تأثیر معنی‌دار داشت. این در حالی است که غلظت فسفر دانه از هیچ‌یک از تیمارهای محلول‌پاشی روی، محلول‌پاشی فسفر و نوع رقم تأثیر نپذیرفت (جدول ۱).




شکل ۱- تغییرات میانگین مقدار فسفر و روی در دانه سفید برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و فسفر.

**Fig. 1. Phosphorus and Zinc content of white rice of two rice varieties (Hashemi and Guilaneh) through applied P and Zn foliar sparying.**

**Z0**، **Z1** و **Z2** به ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه؛ **P0**، **P1** و **P2** به ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه؛ خطوط بار نشانگر انحراف معیار است

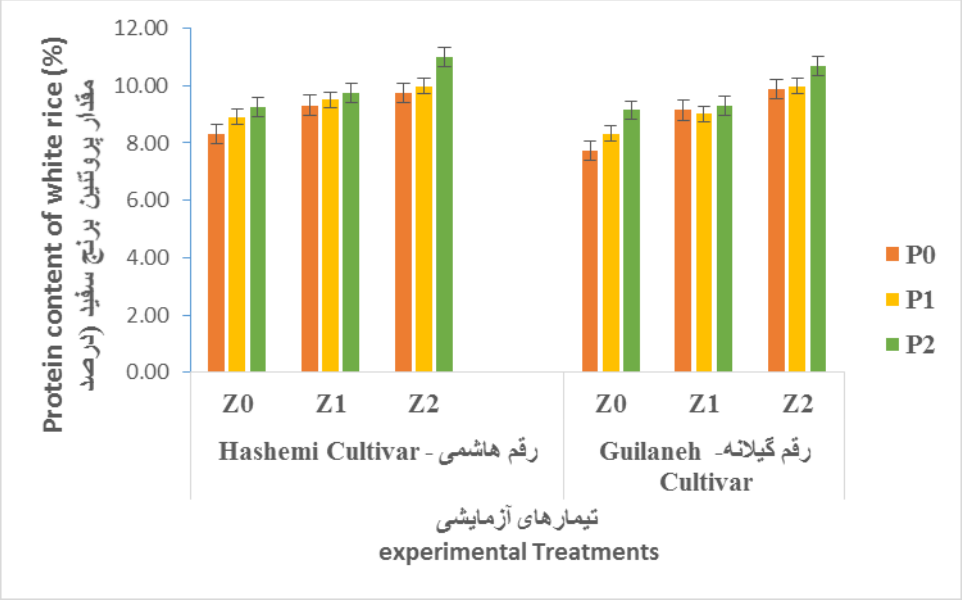
**Z0, Z1, Z2 respectively, foliar spraying with distilled water (control), foliar spraying with zinc sulfate at five per thousand stages of the beginning of pregnancy and foliar spraying with zinc sulfate at five per thousand stages of the beginning of pregnancy and at the seed ripening stage; P0, P1, P2 respectively, foliar spraying with distilled water (control), foliar spraying with potassium hydrogen phosphate five per thousand at the beginning of pregnancy and foliar spraying with potassium hydrogen phosphate five per thousand at the beginning of pregnancy and at the seed ripening stage; The bar lines indicate the standard deviation.**

بالاترین میزان صفت غلظت روی در آرد برنج در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه به‌دست آمده است که به ترتیب ۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۲۷ درصد افزایش نسبت به شاهد) و ۳۵/۳ میلی‌گرم برای رقم گیلانه (۲۷/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد) بوده است که بیانگر اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۱ پایین). هم‌چنین نتایج نشان داد که با کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی با کود فسفر غلظت روی در دانه سفید برنج در هر دو رقم کاهش معنی‌داری می‌یابد. این کاهش در رقم هاشمی ۱۵ درصد و رقم گیلانه ۱۸ درصد در تیمار محلول‌پاشی با فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه است. به نظر می‌رسد که 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. به‌علاوه بیش‌تر بودن غلظت روی دانه در تیمارهای سولفات روی می‌تواند به بالاتر بودن غلظت محلول سولفات روی مرتبط باشد. در پژوهشی افزایش معنی‌دار غلظت روی دانه برنج با محلول‌پاشی کود روی از نوع سولفات روی و کلات روی را گزارش کردند (۴۹). گزارش‌شده که تنوع ژنوتیپی در غلظت روی دانه برنج ممکن است به علت تفاوت در فرآیندهای فیزیولوژیکی تعیین‌کننده تجمع روی در دانه باشد (۵۰). هم‌چنین، گزارش‌شده است که محلول‌پاشی سولفات روی باعث افزایش غلظت روی به مقدار ۴۵-۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در برنج قهوه‌ای و ۳۷-۹ میلی‌گرم در کیلوگرم در برنج سفید شد (۲).

بالاترین میزان صفت غلظت فسفر در آرد برنج در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی و فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه به‌دست آمده است که به ترتیب برای رقم هاشمی ۳۳/۷ درصد افزایش نسبت به شاهد و برای رقم گیلانه ۳۶/۲ درصد افزایش نسبت به شاهد است که بیانگر اختلاف عددی و نه معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۱ بالا). فسفر در همه فرآیندهای زیست شیمیایی و ترکیبات انرژی‌زا دخالت دارد. افزون بر آن فسفر جزئی از پروتئین یاخته بوده و به‌عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشای یاخته‌ای و اسیدهای نوکلئیک، نقشی ویژه در رشد گیاهان دارد. اگرچه مطالعه بر روی کاربرد فسفر از طریق محلول‌پاشی بسیار نادر است اما عباسیان و امینی‌پناه (۲۰۱۷) در مطالعات خود نشان دادند که توانایی برنج در انتقال فسفر جذب‌شده تابع قوانین فیزیولوژیکی منبع و مخزن است. آن‌ها هم‌چنین بیان داشتند که مصرف فسفر اثر معنی‌داری بر محتوای فسفر دانه‌های برنج داشت (۵۱). کاربرد مقادیر مختلف کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل نسبت به عدم کاربرد این کود به جذب و تجمع بالاتر فسفر در گیاه کمک کرده است. هم‌چنین یزدانی‌مطلق (۲۰۱۳)، توین و همکاران (۲۰۰۶) و اسلام و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که کاربرد کود فسفر در زمان و میزان مناسب به افزایش غلظت فسفر دانه می‌انجامد (۵۲، ۵۳ و ۵۴).

**میزان پروتئین دانه (برنج سفید):** نتایج تجزیه واریانس صفت میزان پروتئین آرد برنج (برنج سفید) نشان داد که تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار (مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه)، محلول‌پاشی فسفر، نوع رقم و اثر متقابل روی و رقم و روی و فسفر ($P\leq ۰/۰۱$)، بر این صفت اثر معنی‌دار داشت (جدول ۱). بالاترین میزان پروتئین آرد برنج در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه همراه با تیمار محلول‌پاشی با فسفر پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه به‌دست آمد که به‌ترتیب ۱۱ درصد برای رقم هاشمی (۳۲/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد) و ۱۰/۶ درصد برای رقم گیلانه (۳۸/۲ درصد افزایش نسبت به

شاهد) بوده است که بیانگر اختلاف عددی و نه معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۲). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که در شرایط کمبود روی، فعالیت آنزیم RNA پلیمراز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش‌یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می‌یابد. درنتیجه تولید پروتئین با کاهش مواجه می‌شود؛ بنابراین در صورت در دسترس بودن روی برای غلات، درصد پروتئین دانه افزایش می‌یابد (۵۵). محمود سلطانی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که با کاربرد تیمارهای روی میزان پروتئین دانه کامل، سبوس و برنج سفید به ترتیب ۱۲/۳، ۸ و ۲۷ درصد افزایش‌یافته و غلظت روی برنج سفید به‌طور معنی‌داری با میزان پروتئین دانه سفید (**۰/۹۱) همبستگی دارد (۱۷). هم‌چنین فاجریا و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعات خود نشان دادند که با افزایش غلظت روی بدون توجه به نوع روش مصرف (مخلوط با خاک یا محلول‌پاشی) به دلیل افزایش جذب روی توسط ریشه و یا اندام‌های هوایی (برگ، ساقه و خوشه) بر میزان پروتئین دانه افزوده می‌شود، چراکه عنصر روی یک عنصر مهم و ضروری هم ازنظر ساختار پروتئین و هم ازنظر فعال‌سازی آنزیم‌های مؤثر بر تولید پروتئین هستند (۵).




**شکل ۲- مقایسه میانگین‌های پروتئین برنج سفید در برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و فسفر.**

**Fig. 2. Protein content of white rice of two rice varieties (Hashemi and Guilaneh) through applied P nd Zn foliar sparying.**

**Z0، Z1 و Z2 به ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0، P1 و P2 به ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه؛ خطوط بار نشانگر انحراف معیار است**

**Z0, Z1, Z2 respectively, foliar spraying with distilled water (control), foliar spraying with zinc sulfate at five per thousand stages of the beginning of pregnancy and foliar spraying with zinc sulfate at five per thousand stages of the beginning of pregnancy and at the seed ripening stage; P0, P1, P2 respectively, foliar spraying with distilled water (control), foliar spraying with potassium hydrogen phosphate five per thousand at the beginning of pregnancy and foliar spraying with potassium hydrogen phosphate five per thousand at the beginning of pregnancy and at the seed ripening stage; The bar lines indicate the standard deviation.**

## نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بالاترین مقدار عملکرد دانه و محتوای روی در دانه برنج سفید در تیمار محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار (مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد از خود نشان دادند. هم‌چنین روند تغییرات محتوای پروتئین برنج سفید نیز از محتوای روی در دانه تبعیت کرده و هر دو در یک تیمار (محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار؛ مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه) به بیشینه خود رسیدند. نتیجه‌گیری کلی این آزمایش نشان می‌دهد که تیمارهای فسفر و روی بر بسیاری از صفات کمی و کیفی اندازه‌گیری شده ارقام برنج مؤثر بودند و در بین این تیمارها محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار (مرحله شروع آبستنی و در مرحله رسیدگی دانه) برترین تیمار برای صفات کیفی هر دو رقم برنج هاشمی و گیلانه بوده و قابل‌ترویج می‌باشند. برای دست‌یابی به نتایج دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود اثر محلول‌پاشی عناصر روی و فسفر (با غلظت و زمان‌های مورداستفاده در پژوهش حاضر) بر فتوسنتز و پارامترهای وابسته به شاخص‌های فتوسنتزی در گیاه برنج، جذب سایر عناصر غذایی (مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و محتوای اسید فیتیک دانه ارقام برنج هاشمی و گیلانه نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

## منابع


1.Depar, N., Rajpar, I., Memon, M.Y. and Imtiaz, M. 2011. Mineral nutrient densities in some domestic and exotic rice genotypes. Pak. J. Agric. (Pakistan)

2.Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Clark. R.B. 2002. Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy, 77: 185-268. Academic Press.

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

4.Chang, H.B., Lin, C.W. and Huang, H.J. 2005. Zinc-induced cell death in rice (*Oryza sativa* L.) roots. Plant Growth Regul. 46: 3. 261-266.

5.Fageria, N.K., Moreira, A. and Coelho, A.M. 2011. Yield and yield components of upland rice as influenced by nitrogen sources. J. Plant Nutr. 34: 3. 361-370.

6.Mahmoud Soltani, S. 2018. Zinc deficiency, causes, symptoms and solutions. Technical Bulletin. Rice Research Institute of Iran. 31p.

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

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

9.Kumari, P., Singh, A.K., Dewangan, P.K., Pankaj, S.C. and Lakra, A.K. 2017. Effect of foliar application of nutrients on soybean. J. Plant Dev. Sci. 9: 3. 261-264.

10.Mahmoud Soltani, S., Allahgholipoor, M., Shakoori, M. and Poursafar Tabalvandani, A. 2020a. Effect of basal and foliar application of zinc sulphate fertilizer on zinc uptake, yield and yield components of rice (Hashemi cultivar). Iranian J. Soil Water Res. (In press) (In Persian with English abstract)

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

12.Chakeralhosseini, M.R., Mohtashami, R. and Owliaie, H.R. 2009. Effects of rate, source, and method of zinc fertilizer application on quantitative and qualitative characteristics of rice (Choram l). J. Res. Agric. Sci. 5: 1. 33-43. (In Persian with English abstract)

13. Hoseinzadeh, H., Mahdavi Damghani, A. and Delkhosh, B. 2012. The effects of zinc sulphate foliar application on yield and yield components of rice (Shiroodi Cultivar). J. New Find. Agric. 7: 1. 47-55. (In Persian)
14. Ramazani, A., Solhi, M. and Rezaei M. 2018. Effects of foliar application of zinc fertilizer on grain yield and zinc content of rice grain cv. Sazandegi. Iranian J. Field Crops Res. 16: 1. 125-136. (In Persian with English abstract)
15. Mahmoud Soltani, S., Mohamed, M.H., Samsuri, A., Syed, M. and Sharifah, K. 2017. Lime and Zn application effects on soil and plant Zn status at different growth stages of rice in tropical acid sulphate paddy soil. Aza. J. Agric. 4: 4. 127-138.
16. Mahmoud Soltani, S. 2018. Zinc deficiency, causes, symptoms and solutions. Technical Bulletin. Rice Research Institute of Iran. 31p.
17. Mahmoud Soltani, S., Hanafi, M.M., Samsuri, A.W., Muhammed, S.K.S. and Hakim, M.A. 2016. Rice growth improvement and grains bio-fortification through lime and zinc application in zinc deficit tropical acid sulphate soils. Chem. Spec. Bioava. 28: 1-4. 152-162.
18. Mahmoud Soltani, S., Mohamed, M.H., Abdul, W.S. and Sharifah, K. 2017. Lime and Zn interactions effects on yield, yield component, and quality of rice in Zn deficit tropical paddy soil. Az. J. Agric. 4: 5. 185-192.
19. Amacher, M.C. 1996. Micronutrients. Methods of Soil Analysis Part 3- Chemical Methods, pp. 739-768.
20. Emami, A. 2006. Methods of plant analysis. Technical bulletin No. 982. Soil and water research institute of Iran.
21. Rose, T.J. and Wissuwa, M. 2012. Rethinking internal phosphorus utilization efficiency: a new approach is needed to improve PUE in grain crops. Advan. Agron. 116: 185-217.
22. Singh, A.L., Singh, P.K. and Latha, P. 1988. Effect of split application of phosphorous on the growth of azolla and low land rice. Fertil. Res. 16: 20. 109-117.
23. Allagholipoor, M. 2016. Analysis of grain yield stability of new rice (*Oryza sativa* L.) genotypes originated from Iranian local cultivars. Ir. J. Crop Sci. 18: 301. 289-294.
24. Mannan, M.A., Bhuiya, M.S.U., Hossain, H.M.A. and Akhand, M.I.M. 2010. Optimization of nitrogen rate for aromatic Basmati rice (*Oriza sativa* L.). Bangladesh J. Agric. Res. 35: 1. 157-165.
25. Moosavi, S.G., Mohamadi, A., Baradaran, R., Seghatolislam, M.J. and Amiri, A. 2015. Effect of different N fertilizer amounts on morphological characters, yield and yield component of three rice cultivars. Iranian J. Field Crops Res. 13: 1. 146-152. (In Persian with English abstract)
26. Malakoti, M.G. and Tehrani, M.M. 1993. The Role of Micro Nutrients in Crop Yield and Quality Improvement (Micro-elements with Grand Effect). Tarbiat Modares University, Tehran. (In Persian)
27. Malakooti, M.J. and Kavoosi, M. 2004. Balance nutrition of rice. SANA publication press. Tehran, Iran.
28. Turner, F.T. and Jund, M.F. 1991. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. Agron. J. 83: 5. 926-928.
29. Rahman, K.M., Chowdhury, M.A.K., Sharmeen, F., Sarkar, A., Hye, M.A., Biswas, G.C. and Sarkar, A. 2011. Effect of zinc and phosphorus on yield of Oryza sativa (cv. br-11). Bangladesh Res. Pub. J. 5: 4. 315-358.
30. Khan, M.U. and Qasim, M. 2007. Effect of Zn fertilizer on rice grown in different soils of Dera Ismail Khan. Sarhad J. Agric. 23: 4. 1033.
31. Abbas, M., Shah, J.A., Irfan, M. and Memon, M.Y. 2016. Evaluating nitrogen and phosphorus requirement for the economical harvest of rice genotype 'NIA-19/A'. Sci. Intl. 28: 4. 3977-3982.
32. Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Clark, R.B. 2002. Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy, 77: 185-268. Academic Press.

33.Yazdani Motlag, N., Reyhanitabar, A. and Najafi, N. 2013. Effects of combined application of nitrogen and phosphorus on their, and as well on potassium uptake by rice plant under flooded vs. non-flooded conditions. Iranian J. Soil Water Res. 44: 2. 183-192. (In Persian with English abstract)
34.Matsuzaki, T. 2001. Control method of the pecky rice bugs in Toyama Prefecture. Plant Prot. 55: 451-454.
35.Khan, M.U., Qasim, M. and Jamil, M. 2002. Effect of different levels of zinc on the extractable zinc content of soil and chemical composition of rice. Asian J. Plant Sci.
36.Jiang, W., Struik, P.C., Lingna, J., Van Keulen, H., Ming, Z. and Stomph, T.J. 2007. Uptake and distribution of root-applied or foliar-applied 65Zn after flowering in aerobic rice. Ann. Appl. Biol. 150: 3. 383-391.
37.Ram, H., Rashid, A., Zhang, W., Duarte, A.P., Phattarakul, N., Simunji, S. et al. 2016. Biofortification of wheat, rice and common bean by applying foliar zinc fertilizer along with pesticides in seven countries. Plant Soil, 403: 389-401.
38.Mafi, S., Sadeghi, M. and Doroodian, H.R. 2013. The effect of P and Zn fertilizers on yield and yield component of rice (Hashemi cultivar). First national conference on sustainable agriculture and healthy environment. Azad University, Hamedan Branch. Hamedan. Iran.
39.Mahmoudi, M., Malakooti, M.J. and Ramzanpour, M. 2004. A study on the effects of zinc sulphate on two varieties of rice in the east of Mazandaran province. Agric. Sci. Natur. Resour. 11: 2. 55-63.
40.Singh, A.K., Singh, N.P. and Nongkyarih, P. 2014. Response of rice to Zn in the soils of Meghalaya. Fertilizer News. 47: 8. 53-54.
41.Zayed, B.A., Salem, A.K.M. and El Sharkawy, H.M. 2011. Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. World J. Agric. Sci. 7: 2. 179-184.
42.Rehim, A., Zafar-Ul-Hye, M., Imran, M., Ali, M.A. and Hussain, M. 2014. Phosphorus and zinc application improves rice productivity. Pakistan J. Sci. 66: 2. 134.
43.Uphoff, N. 2005. The development of the System of Rice Intensification. Part Res. Dev. Sus. Agric. Rur. Dev. 3: 119-125.
44.Shokrivahed, H. 2009. The effects of foliar supplements of micro nutrients on the yield and yield components of Hashemi rice variety. Final report of Rice Research Institute of Iran. 20p. (In Persian)
45.Zhu, C., Gao, X., Shi, R., Fan, X. and Zhang, F., 2008. Micronutrient deficiencies in crop production in China. In Micronutrient deficiencies in global crop production (pp. 127-148). Springer, Dordrecht.
46.Srivastava, P.C., Bhatt, M., Pachauri, S.P. and Tyagi, A.K. 2014. Effect of zinc application methods on apparent utilization efficiency of zinc and phosphorus fertilizers under basmati rice–wheat rotation. Arch. Agron. Soil Sci. 60: 1. 33-48.
47.Shivay, Y.S., Prasad, R. and Rahal, A. 2010. Genotypic variation for productivity, zinc utilization efficiencies, and kernel quality in aromatic rice under low available zinc conditions. J. Plant Nutr. 33: 1835-1848.
48.Kumar, R., Kumar, M., Yadav, S. and Kumar, R. 2020. Effect of sources and methods of zinc application on productivity, nutrient uptake and Zinc use efficiency of Basmati rice (*Oryza sativa* L.). Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 9: 1. 2231-2242.
49.Karak, T. and Das, D. 2006. Effect of foliar application of different sources of Zn application on the changes in Zn content, uptake and yield of rice (*Oryza sativa* L.). In 18th World Congress of Soil Science. Philadelphia. USA.
50.Gao, X., Hoffland, E., Stomph, T., Grant, C.A., Zou, C. and Zhang, F. 2012. Improving zinc bioavailability in transition from flooded to aerobic rice. A review. Agron. Sus. Dev. 32: 2. 465-478.

51.Abbasian, A. and Aminpanah, H. 2017. Effects of previous crop and rate of phosphorous fertilizer application on yield and yield components of Rice (*Oryza sativa* L.) cv. Shiroudi. J. Crop Physiol. 11: 4. 889-904.

52.Yazdani Motlag, N., Reyhanitabar, A. and Najafi, N. 2013. Effects of combined application of nitrogen and phosphorus on their, and as well on potassium uptake by rice plant under flooded vs. non-flooded conditions. Iranian J. Soil Water Res. 44: 2. 183-192. (In Persian with English abstract)

53.Tuyen, T.Q., Van Phung, C. and Tinh, T.K. 2006. Influence of long term application of N, P, and K Fertilizer on major soil elements. Omonrice. 14: 92-96.

54.Islam, M.A., Islam, M.R. and Sarker, A.B.S. 2008. Effect of phosphorus on nutrient uptake of japonica and indica rice. J. Agr. Rural Dev. 6: 1-2. 7-12.

55.Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.