DOI: 10.22059/ijswr.2020.301598.668591 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۸، آبان ماه ۱۳۹۹ (ص ۲۰۸۳-۲۰۶۵)

Effect of Foliar Application of Zinc and Phosphorous on Their Dynamic, Biofortification, and on Grain Protein Content of Two Rice Cultivars (Hashemi and Guilaneh)

SHAHRAM MAHMOODI SOLTANI*
Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
(Received: May. 2, 2020- Revised: June. 11, 2020- Accepted: June. 13, 2020)

ABSTRACT

Phosphorus (P) is the second macronutrients and zinc (Zn) is the most important micronutrients that their deficiencies are the most important global nutrient disorders in the world paddy fields. The current field study was conducted to evaluate the effect of Zn and P foliar application (each at three levels) on their content in rice tissues and grains bio-fortification (Zn and protein content). A field experiment as factorial form was conducted in a completely randomized block design with three replications in 2017-2018, at research farm of Rice Institute in Rasht, Iran. The results of the variance analysis indicated that all the applied treatments and their interactions significantly influenced the Zn and P content of rice tissues, Zn and protein contents of rice grains. The heighest zinc content increased in the leaves four times, in the stem and panicle three times and the phosphorous content increased in all organs two times, at flowering and ripening stages. The highest content of grain Zn in Hashemi and Guilaneh cultivars, treated by foliar application of Zn (using 5 ppt ZnSO4) one week before flowering and grain filling stages, were recorded to be about 39.06 $mgkg^{-1}$ (27.11% more than the control) and 35.37 $mgkg^{-1}$ (27.37 % more than the control), respectively. Also, the highest content of grain protein in Hashemi and Guilaneh cultivars with no significant difference treated by foliar application of Zn (using 5 ppt ZnSO4) one week before flowering and grain filling stages were recorded to be about 11% (32.37% more than the control) and 10.67% (38.21 % more than the control), respectively. The proposed cultivars have been similarly responded to the applied treatments. It can be concluded that the foliar application of Zn, one week before flowering and grain filling stages might be a quick and proper solution to enhance grain Zn and protein content.

Keywords: Foliar Spray, Hashemi Variety, Guilaneh Variety, Rice, Zinc, Phosphorus.

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

تاثیر محلول‌پاشی روی و فسفر بر پویایی و غنی‌سازی زیستی آن‌ها و میزان پروتئین دانه دو رقم برنج هاشمی و گیلانه

شهرام محمود سلطانی*

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۳- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۳/۲۲- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۳/۲۴)

چکیده

فسفر دومین عنصر پرمصرف و روی مهم‌ترین عنصر کم‌مصرف می‌باشند که اثرات ناشی از کمبود آن‌ها گسترده‌ترین بی‌نظمی‌های تغذیه‌ای را در اراضی شالیزاری جهان ایجاد می‌کنند. به‌منظور بررسی تاثیر محلول‌پاشی عناصر روی و فسفر (هر کدام در سه سطح) بر غلظت فسفر و روی در اندام‌های مختلف گیاه برنج در مراحل گوناگون رشد، غنی‌سازی زیستی دانه و میزان پروتئین دانه برنج دو رقم هاشمی و گیلانه، آزمایشی مزرعه‌ایی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور-رشت، اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای روی، فسفر و رقم و برهمکنش آن‌ها بر غلظت روی و فسفر ریشه، برگ و ساقه در مرحله گلدهی و رسیدن دانه و غلظت روی و مقدار پروتئین دانه تاثیر معنی‌دار داشت. در مرحله گلدهی بالاترین غلظت روی در برگ بطور متوسط چهار برابر، در ساقه و خوشه سه برابر و غلظت فسفر در این اندام‌ها تا دو برابر افزایش یافت. بالاترین میزان صفت غلظت روی در آرد برنج در تیمار محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه به‌دست آمده است که به‌ترتیب ۳۹/۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۲۷/۱۱ درصد افزایش نسبت به شاهد) و ۳۵/۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۲۷/۳۷درصد افزایش نسبت به شاهد) بود. بالاترین میزان صفت پروتئین آرد برنج در تیمار محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه مشاهده شد. این افزایش ۱۱ درصد برای رقم هاشمی (۳۲/۳۷ درصد افزایش نسبت به شاهد) و ۱۰/۶۷ درصد برای رقم گیلانه (۳۸/۲۱درصد افزایش نسبت به شاهد) بود که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. واکنش هر دو رقم نسبت به تیمارها مشابه و محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه راهکار مناسبی برای افزایش غلظت روی و درصد پروتئین دانه در هر دو رقم بود.

واژه های کلیدی: محلول‌پاشی، رقم هاشمی، رقم گیلانه، برنج، روی، فسفر.

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از غذاهای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان، به‌ویژه آسیا و آفریقاست که در این مناطق بیش از ۹۰ درصد برنج تولیدی، مصرف نیز می‌شود (FAO, 2018؛ Alloway, 2009). برنج ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز جمعیت‌های انسانی در کشورهای برنج‌خیز جهان را فراهم می‌کند (FAO, 2018). با توجه به روند رو به افزایش جمعیت جهان، طبق آمارهای سازمان خواروبار جهانی (فائو) تا سال ۲۰۲۵ به ۷۶۰ میلیون تن شلتوک نیاز خواهد بود تا بتوان میزان تقاضای جمعیت جهان را به این منبع مهم غذایی تأمین نمود. این در حالی است که بیش‌تر شالیزارهای موجود مورد بهره‌برداری قرارگرفته‌اند (FAO, 2018). در طول پنج دهه گذشته عملکرد برنج دو جهش بزرگ (پیشرفت‌های ژنتیکی و به‌زراعی) را به خود دیده است که طی آن میزان عملکرد دانه برنج به بیش از سه برابر افزایش یافته است (Khoshgoftarmanesh *et al*. 2009؛ Tonini and Cabrera, 2013). این در حالی است که بهبود کیفیت دانه به‌طور غیرقابل‌انکاری تحت‌الشعاع افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به‌ویژه برنج قرار داشته است. غنی‌سازی عناصر در دانه یا افزودن مقدار قابل جذب و دسترس آن‌ها (به‌ویژه روی) در بخش خوراکی محصولات کشاورزی هدف مهم و حیاتی دیگری است که هم خود آن‌ها و هم محصولات جانبی حضور آن‌ها در دانه مانند پروتئین با بهبود کیفیت و ارزش غذایی این محصولات می‌تواند بسیاری از اختلات ناشی از سوءتغذیه در انسان را کنترل و یا درمان نماید (Hirschi, 2008؛ Mayer *et al*., 2008).

پس از نیتروژن، فسفر دومین عنصر پرمصرف و روی مهم‌ترین عنصر کم‌مصرف می‌باشند که اثرات ناشی از کمبود آن‌ها گسترده‌ترین و جدی‌ترین بی‌نظمی‌های تغذیه‌ای را در اراضی

* نویسنده مسئول: shmsoltani@gmail.com

شالیزاری جهان ایجاد کرده و یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد در گیاه برنج است. فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان است که باعث افزایش رشد و قوی‌تر شدن ریشه‌ها، قوی و ضخیم‌شدن ساقه‌ها، پرحجم شدن دانه‌ها، افزایش میزان عملکرد و زودرسی محصول شده و در عمل تلقیح گل‌ها دخالت دارد (Irannejad and Shabbazian, 2002). روی نیز در تعداد زیادی از فرایندهای فیزیولوژیک رشد گیاه و سازوکارهای سوخت-وساز آن از جمله فعال‌سازی ۳۰۰ آنزیم، سنتز پروتئین‌ها، متابولیسم‌های درگیر در تولید کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم لقاح (تشکیل دانه گرده) دخالت دارد (Chang *et al*. 2005).

برای تأمین کافی هر عنصر ضروری برای رشد مناسب محصولات کشاورزی، گیاهان از دو منبع گوناگون استفاده می‌کنند:

منابع بیرونی یعنی جذب از طریق خاک و اندام‌های هوایی و یا منابع داخلی ناشی از متحرک (رها) سازی مجدد[1] این عناصر در بافت‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد برحسب نیاز گیاه (Palmgern *et al*., 2008). منبع اول با کاربرد راهبردهای به‌زراعی همانند افزایش شکل‌های دردسترس این عناصر در خاک با مصرف منابع قابل جذب آنها شکل می‌گیرد (Graham *et al*., 2007؛ White and Broadley, 2009). منبع دوم مخازن زیستی قابل استفاده مجدد این عناصر در بافت‌های گیاهانی پیش از زمان گلدهی بوده که پویایی آن‌ها به روابط بین غلظت این عناصر درخاک، غلظت کل آن‌ها در گیاه و غلظت‌شان در تک‌تک بافت‌های گیاهان زراعی بستگی‌دارد (Jiang *et al*., 2007؛ Stonmph *et al*., 2009). میزان جذب، ذخیره و رهاسازی دوباره عناصر توسط اندام‌های گوناگون گیاهی برابر و یکسان نیست چرا که گیاه قادر است عناصر را نه‌تنها از طریق ریشه بلکه توسط اندام‌های هوایی نیز جذب کرده (Broadley *et al*., 2007) و به شکل ترکیبات پیچیده آلی در بخش‌های گوناگون بافتی خود ذخیره نماید. معمولا بیش‌ترین میزان غلظت عناصر جذب شده در بافت‌های گیاهی به‌ترتیب در ریشه، ساقه، برگ، خوشه و دانه ذخیره می‌شود (Pfeiffer and McClafferty, 2007؛ White and Broadley, 2009).

اگرچه کاربرد عناصر در خاک‌های دارای کمبود، یک استراتژی کلی برای مقابله با کمبود آن‌ها بوده و علاوه بر افزایش عملکرد دانه به افزایش غلظت‌شان در دانه نیز می‌انجامد (Hussian *et al*., 2012؛ MahmoudSoltani *et al*., 2017)، اما این رویکرد همیشه از دیدگاه اقتصادی مطلوب نبوده و ممکن است به مطالعات اصلاحی تکمیلی نیاز باشد. بنابراین تامین فسفر و روی کافی و در زمان مناسب علی‌رغم روش‌های معمول خاکی، توجه به محلول‌پاشی را نیز در کانون توجه قرار می‌دهد. محلول‌پاشی به‌عنوان یک مکمل برای کوددهی و تکنیکی مؤثر جهت ارتقای رشد گیاه و توان گیاهان زراعی به‌وسیله جذب سریع و سرعت بخشیدن به انتقال عناصر جذب شده از برگ‌ها ـه بافت‌های مختلف می‌باشد.

MahmoudSoltani *et al*. (2017) نشان دادند که بیش-ترین غلظت روی جذب شده توسط گیاه برنج در مرحله پنجه‌زنی به‌ترتیب در ریشه، ساقه و برگ، و در مرحله گلدهی در ریشه، ساقه، خوشه و برگ و در مرحله رسیدن دانه نیز به‌ترتیب در ریشه، ساقه، دانه، خوشه و برگ دیده می‌شود. روند تغییر جایگاه برگ می‌تواند به‌دلیل رهاسازی دوباره این عنصر توسط برگ و انتقال به نقاط هدف مانند خوشه در مرحله گلدهی، و خوشه و دانه در زمان پرشدن آن باشد (Pfeiffer and McClafferty, 2007؛ White and Broadley, 2009). به‌طورکلی، افزایش زیاد در غلظت روی دانه زمانی رخ می‌دهد که عنصر روی به‌صورت محلول‌پاشی در مراحل نهایی رشد گیاه استفاده می‌شود (White and Broadley, 2009). به‌طور مشابه، انتقال بیش‌تر روی از برگ پرچم به دانه زمانی رخ می‌دهد که روی موجود در یک محلول غذایی در هنگام ظهور خوشه (آبستنی) و یا مرحله گرده‌افشانی برای ژنوتیپ‌های با روی دانه بالا و یا پایین استفاده شده است (Wu *et al*., 2010). محلول‌پاشی روی (۵ در هزار سولفات‌روی) در شروع خوشه‌دهی در افزایش دو برابری غلظت روی دانه موثر بود (Phattarakul *et al*., 2011). در مقایسه تاثیر محلول‌پاشی و کاربرد خاکی سولفات‌روی در خاکی با بافت رسی‌شنی، اسیدیته کمی قلیا، با غلظت روی بیشتر ازحد بحرانی و در شرایط غرقابی نتایج نشان داد که افزایش غلظت روی دانه درتیمار محلول‌پاشی برگی ۵ در هزار سولفات‌روی در شروع خوشه‌دهی در حدود دو برابر کاربرد خاکی روی در همان مرحله است. این افزایش در غلظت روی دانه به بهبود انتقال مجدد روی در برگ در طول پرشدن دانه نسبت داده شده است. (Rehman, 2012). Mahmoudsoltani *et al*. (2019) در بررسی اثر متقابل کاربرد پایه و محلول‌پاشی سه مرحله‌ایی روی (پنجه‌زنی، گلدهی و پرشدن دانه) بر روی پراکنش روی در اندام‌های گیاهی و غنی‌سازی زیستی دانه نشان دادند که بالاترین غلظت روی آرد با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی و محلول‌پاشی در مرحله پرشدن دانه حاصل شد؛ در حالی‌که بالاترین میزان پروتئین آرد با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی

1. Remobilization

و محلول‌پاشی در مرحله یک‌هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد. کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی بالاترین غلظت روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه، محلول‌پاشی مرحله پنجه‌زنی باعث بالاترین غلظت روی برگ و ساقه، محلول‌پاشی مرحله خوشه‌دهی باعث بالاترین غلظت روی ریشه و محلول‌پاشی مرحله رسیدگی باعث بالاترین غلظت روی خوشه شد. بنابراین، کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی و محلول‌پاشی یک‌هفته قبل از مرحله گلدهی و پرشدن دانه، به عنوان راهکاری جهت بهبود کیفیت دانه بسیار موثر بود. (Mahmoudsoltani *et al.*, 2016 and 2017) نشان دادند که کاربرد کود سولفات‌روی نه‌تنها بر میزان پروتئین دانه موثر 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 (غلظت روی و درصد پروتئین) تأثیر افزایشی داشته ولی برای نتیجه بهتر بایستی محلول‌پاشی به زمان رسیدن دانه نزدیک‌تر باشد (محلول‌پاشی در زمان پرشدن دانه). علی‌رغم مطالعات بسیار در خصوص تاثیر محلول‌پاشی روی بر گیاه برنج، و مطالعات بسیار بر روی مصرف فسفر بصورت پایه و مخلوط با خاک (He *et al*, 2005؛ Yoseftabar, 2012) مطالعه در زمینه محلول پاشی فسفر و اثرمتقابل فسفر و روی با توجه به اثر بازدارندگی این دو عنصر نسبت بسیار نادر است. بنابراین پژوهش حاضر با اهداف بررسی افزایش میزان روی دانه سفید برنج از طریق غنی‌سازی زیستی، تاثیر محلول‌پاشی فسفر و روی بر میزان پروتئین برنج سفید و پراکنش عناصر فسفر و روی در اندام‌های گوناگون گیاه برنج در مراحل مختلف رشد تدوین و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ درمزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت به‌صورت فاکتوریل (با سه فاکتور شامل روی، فسفر و رقم) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و بر روی دو رقم برنج هاشمی (محلی) و گیلانه (اصلاح شده) و در سه تکرار انجام گردید. بعد از عملیات شخم کرت‌هایی به ابعاد (۵×۴)۲۰ مترمربع با مرزبندی مشخص ایجاد و برای جلوگیری از تداخل تیمارهای کودی مرزها با پلاستیک پوشانده شدند. از کرت‌های گزینش شده 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 آن‌ها مانند بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (جی و باودر، ۱۹۸۶)، اسیدیته عصاره اشباع با الکترود شیشه‌ای (بایت،۱۹۷۳)، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع به‌روش هدایت‌سنجی (رودز، ۱۹۹۶)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (واکلی و بلاک، ۱۹۳۴)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در اسیدیته ۷ (باور، ۱۹۵۲)، فسفر قابل استفاده به روش اولسون (۱۹۵۴) ، نیتروژن کل بر اساس روش کجلدال (برمنر، ۱۹۶۵)، پتاسیم قابل استفاده به‌روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم، عناصر میکرو به‌روش عصاره‌گیری با DTPA (لیندسی و نورول ، ۱۹۷۸) اندازه‌گیری گردید (جدول ۱). تمام روش‌های متداول زراعی بر اساس تقویم زراعی موسسه تحقیقات برنج کشور به انجام رسید. 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 مقدار۶۰ 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. گیاهچه‌های یکدست ارقام هاشمی و گیلانه به فواصل ۲۰ در ۲۰ سانتی‌متر و سه گیاهچه در هر کپه کاشته وکلیه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش-های توصیه شده توسط موسسه تحقیقات برنج کشور در کلیه کرت‌ها به‌صورت یکسان اعمال شد. فاکتور(عامل)های آزمایشی عبارتند از: رقم به عنوان عامل اول دردو سطح، روی به‌عنوان عامل دوم در سه سطح و فسفر به عنوان عامل سوم در سه سطح. همچنین تیمارهای این آزمایش شامل : ۱- عدم استفاده از کود روی(شاهد)، ۲- محلول‌پاشی ۵ در هزار روی یک هفته قبل از گلدهی، ۳- محلول‌پاشی ۵ در هزار روی یک هفته قبل از گلدهی به‌همراه محلول‌پاشی روی در مرحله پر شدن دانه، و ۴- عدم استفاده از کود فسفره (شاهد) ۵- محلول‌پاشی ۵ در هزار فسفر در مرحله گلدهی ۶- محلول‌پاشی ۵ در هزار فسفر در مرحله گلدهی و مرحله پر شدن دانه می‌باشند. به‌منظور یکسان سازی شرایط رطوبتی در شاهد و سایر تیمارها، در شاهد فقط آب مقطر بر روی گیاه پاشیده شد. درطول اجرای آزمایش و برحسب مراحل گوناگون رشدگیاه برنج مانند حداکثر پنجه زنی، گلدهی، پرشدن دانه و پس از برداشت ده بوته تصادفی گزینش و غلظت روی و فسفر در اندام‌های مختلف مانند برگ، ساقه، خوشه و بخش های مختلف دانه بروش (Campbell and Plank, 1998) و میزان پروتئین دانه بروش سنجش نیتروژن (SWRI,2008) اندازه‌گیری گردید. پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کولموگرف-اسمیرونوف نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. پس از انجام آزمون یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه و تحلیل مرکب

دو ساله داده‌ها با نرم‌افزار SAS انجام گرفت. روابط رگرسیونی با استفاده استفاده از مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی گام به گام و با نرم افزار SPSS محاسبه شد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از آزمایش- مزرعه پژوهشی رشت

اسیدیته گل اشباع	کربن آلی	نیتروژن کل	کربنات کلسیم معادل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	روی قابل جذب	شن	سیلت	رس	گنجایش تبادل کاتیونی	بافت خاک
	درصد			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			درصد			(میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم)	
۷/۱۱	۱/۴	۰/۱۳	۵/۷	۱۰	۱۹۸	۲/۶	۱۸	۲۸	۵۴	۳۸	رسی

نتایج و بحث

مرحله پنجه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای روی، فسفر و رقم و برهمکنش آن‌ها بر غلظت روی و فسفر ریشه، برگ و ساقه در مرحله پنجه‌زنی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). البته این واکنش به‌دلیل شروع کاربرد تیمارها از مرحله یک هفته پیش از گلدهی منطقی به‌نظر می‌رسد (شکل ۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس غلظت روی و فسفر در اندام‌های ریشه، ساقه و برگ گیاه برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی فسفر و روی در مرحله حداکثر پنجه‌زنی

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	ZR1	ZS1	ZL1	PR1	PS1	PL1
سال	۱	۰/۱۰ ns	۰/۰۴ ns	۰/۲۲ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns
تکرار(سال)	۴	۴۳/۳۹ ns	۲۴/۰۷ ns	۸/۰۹ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۱۰۱ ns
رقم	۱	۱۴۸/۴۵ ns	۴۲/۳۴ ns	۵۸۳/۹۹ ns	۰/۰۲۵ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۱۲ ns
فسفر	۲	۲/۵ ns	۳/۱۲ ns	۴۴/۹۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۷ ns
روی	۲	۲/۱۴ ns	۰/۸۲ ns	۶/۰۴ ns	۰/۰۲۴ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۹ ns
سال×رقم	۱	۰/۱۴ ns	۰/۰۴ ns	۰/۲۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns
سال× فسفر	۲	۰/۰۶ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns
فسفر×رقم	۲	۸/۴۲ ns	۴/۴۴ ns	۷۲/۳۸ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰ ns
سال×فسفر×رقم	۲	۰/۱۴ ns	۰/۰۶ ns	۰/۲۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns
سال×روی	۲	۰/۱۵ ns	۰/۰۴ ns	۰/۱۷ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns
رقم × روی	۲	۵۳/۶۲ ns	۰/۷۷ ns	۷۵/۷۴ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۲ ns
سال× روی× رقم	۴	۰/۱۱ ns	۰/۰۳ ns	۰/۲۱ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns
فسفر×روی	۴	۲۱/۸۷ ns	۲/۵۰ ns	۱۵/۳۹ ns	۰/۰۱۶ ns	۰/۰۲۰ ns	۰/۰۰۵ ns
سال×فسفر×روی	۴	۰/۳۸ ns	۰/۱۰ ns	۰/۵۴ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns
فسفر×روی×رقم	۴	۳۰/۴۷ ns	۱/۹۵ ns	۲۴/۳۳ ns	۰/۰۳۹ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۰۳ ns
سال×فسفر×روی×رقم	۴	۰/۱۱ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns
اشتباه آزمایشی	۶۸	۵۸/۹۷	۵/۵۳	۳۶/۵۶	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)		۲۱/۰۴	۱۳/۲۹	۱۵/۳۶	۲۱/۳۳	۱۸/۳۲	۱۰/۴۱

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. ZR1، ZS1 و ZL1 به‌ترتیب: غلظت روی در ریشه، ساقه و برگ گیاه برنج در مرحله حداکثرپنجه زنی؛ PR1، PS1 و PL1 به ترتیب: غلظت فسفر در ریشه، ساقه و برگ گیاه برنج در مرحله حداکثرپنجه زنی.

شکل ۱- مقدار روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) در اندام‌های مختلف گیاه برنج ارقام هاشمی و گیلانه در مرحله پنجه‌زنی

Zn0، Zn1، Zn2، P0، P1 و P2 به ترتیب عدم استفاده کود روی، محلول‌پاشی پنج در هزار روی یک هفته قبل از گلدهی، محلول‌پاشی پنج در هزار روی یک هفته قبل از گلدهی به‌همراه محلول‌پاشیروی در مرحله پرشدن دانه، و عدم استفاده از کود فسفره، محلول‌پاشی پنج در هزار فسفر در مرحله گلدهی و محلول‌پاشی پنج در هزار فسفر در مرحله گلدهی و مرحله پر شدن دانه

میانگین روی در برگ برنج رقم هاشمی و گیلانه به‌ترتیب حدود ۴۲ و ۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، در ریشه برنج رقم هاشمی و گیلانه به‌ترتیب حدود ۳۵ و ۳۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و در ساقه برنج رقم هاشمی و گیلانه به‌ترتیب ۱۸/۲ و ۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (شکل ۱) . توزیع روی در بافت‌های مختلف در مرحله پنجه‌زنی در هر دو رقم برنج اصلاح شده و محلی از یک روند تبعیت کرد و به‌ترتیب برگ‌ها دارای بیش‌ترین مقدار روی و پس از آن ریشه‌ها و ساقه‌ها قرار داشتند. بر این اساس بیان شده است که بافت‌های گیاهی قادر به جذب شکل‌های محلول و نامحلول روی بوده و قسمت زیادی از روی محلول را در ترکیبات آلی پیچیده ذخیره می‌کنند (Broadley *et al*., 2007). دو منبع اصلی انتقال روی موجود در خاک و روی موجود در بافت گیاه، برای رشد مطلوب برنج استفاده می‌شود (Palmgren *et al*., 2008). اولین منبع توسط استراتژی‌های مدیریت زراعی (به‌عنوان مثال، برنامه اصلاح خاک) بهبود یافته (Graham *et al*., 2007) و پویایی منبع دوم روی نیز توسط رابطه بین مقدار کل روی در گیاه و مقدار روی در هر یک از بخش‌های مختلف گیاه کنترل می‌شود (Jiang *et al*., 2007). پراکنش روی جذب شده توسط گیاه در بافت‌هایش یکنواخت نبوده و به‌طور کلی توزیع روی در اندام‌های گیاه به‌صورت زیر است: ریشه‌ها > شاخساره > دانه‌ها (Broadley *et al*., 2011; White and Broadley, 2011). بنابراین غلظت روی در ریشه‌های گیاهی اغلب بالاتر از ساقه‌ها و برگ‌ها بوده وکم‌ترین غلظت نیز در بخش‌های خوراکی دیده می‌شود (White and Broadley, 2005; Pfeiffer and McClafferty, 2007). این در حالی است که بر اساس برخی گزارش‌ها غلظت روی کل در بافت برنج در تمام مراحل رشد به ترتیب زیر است شاخساره‌ها > ریشه‌ها و دانه‌ها (Jiang et al., 2007).

میانگین فسفر در برگ برنج رقم هاشمی و گیلانه به‌ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۵۳ درصد، در ساقه برنج رقم هاشمی و گیلانه به‌ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۳۵ درصد و در ریشه برنج رقم هاشمی و گیلانه به‌ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۲۵ درصد بود (شکل ۲). توزیع فسفر در بافت‌های مختلف در مرحله پنجه‌زنی در هر دو رقم برنج اصلاح شده و محلی از یک روند تبعیت کرده و به‌ترتیب برگ‌ها دارای بیش‌ترین مقدار و پس از آن ساقه‌ها و ریشه‌ها قرار داشتند. Ye *et al*. (2014) در بررسی بخش‌بندی کربن، نیتروژن و فسفر در اندام‌های گیاه برنج تحت تأثیر کودهای مختلف و رژیم‌های گوناگون آبیاری نتیجه‌گیری نمود که با وجود تفاوت در تیمارهای مورد استفاده، بیش‌ترین توزیع فسفر در اندام‌های گیاه برنج در زمان پنجه‌زنی در ساقه‌ها و سپس ریشه‌ها صورت پذیرفت و هرچه گیاه به انتهای مراحل رشد نزدیک شد، بر مقدار آن در ساقه و ریشه به‌طور هم‌زمان افزوده گردید. لازم به ذکر است که اطلاعات همه‌جانبه در مورد تخصیص عناصر بین اندام‌های گیاهی برای

بررسی روند تکاملی تنوع عملکردی گیاهان حیاتی است (Mao *et al.*, 2001). روند کاهشی فسفر در ریشه و روند افزایشی در اندام‌های نزدیک به خوشه در طول فصل رشد قابل انتظار است. تغییرات در بخش‌های ساقه و برگ به علت ماهیت انتقال‌دهندگی آن بین ریشه و خوشه بیش‌تر دیده می‌شود و این بخش‌ها به‌عنوان عوامل اصلی در بخش‌بندی فسفر در ابتدای طول دوره رویشی افزایش چشم‌گیری نسبت به ریشه از خود نشان می‌دهند. این الگوی رفتاری به دلائل زیر در گیاه برنج رخ می‌دهد: ۱- تحرک و جابجایی دوباره این عنصر از ریشه به بخش‌های هوایی پیش از زمان به خوشه رفتن و در نهایت مرحله خوشه‌روی، ۲- تغییرات فصلی مربوط به پراکندگی زیست‌توده در اندام های مختلف (Ye *et al.*, 2013) و ۳- ترکیبی از تغییرات در جذب مواد مغذی گیاهی، فنولوژی برگ و دردسترس بودن مواد مغذی خاک (Zheng *et al.*, 2012).

شکل ۲- مقدار فسفر (درصد) در اندام‌های مختلف گیاه برنج ارقام هاشمی و گیلانه در مرحله پنجه‌زنی

Zn0، Zn1، Zn2، به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلولپاشی‌با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0، P1 و P2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه

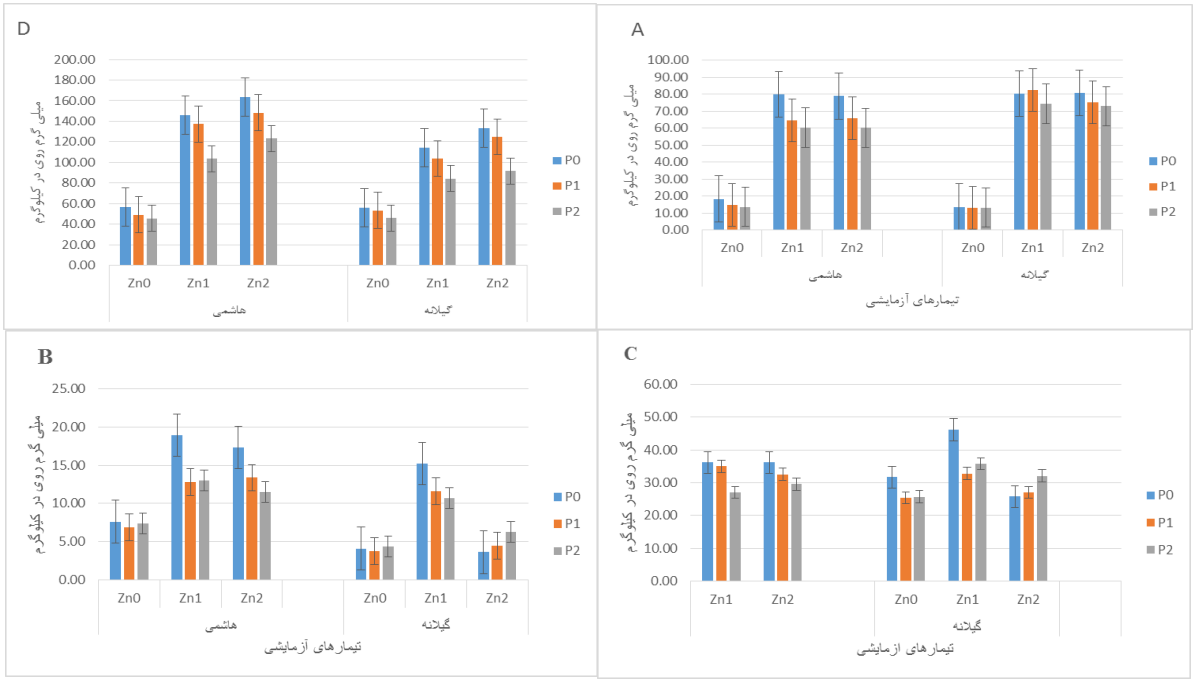
مرحله گلدهی

نتایج تجزیه واریانس در مرحله گلدهی نشان داد که تیمارهای آزمایشی رقم ($p\leq0.01$)، روی ($p\leq0.01$) و اثر متقابل روی و رقم ($p\leq0.05$) بر غلظت روی ریشه و فسفر ریشه و همچنین اثر متقابل فسفر و رقم نیز بر غلظت فسفر ریشه ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۳). غلظت روی برگ به‌طور معنی‌داری از تیمارهای محلول‌پاشی فسفر ($p\leq0.01$)، محلول‌پاشی روی ($p\leq0.01$)، نوع رقم ($p\leq0.01$) و برهمکنش روی و رقم ($p\leq0.01$) و فسفر و روی ($p\leq0.05$) تأثیر پذیرفت، در حالی که غلظت فسفر برگ تنها از محلول‌پاشی فسفر ($p\leq0.01$) و فسفر ($p\leq0.01$) بطور معنی‌داری متاثر گردید. غلظت روی ساقه به‌طور معنی‌داری از تیمارهای محلول‌پاشی روی ($p\leq0.01$)، نوع رقم ($p\leq0.01$) و برهمکنش روی و رقم ($p\leq0.05$) متأثر گردید، در حالی‌که غلظت فسفر ساقه تنها تحت تأثیر تیمارهای کاربردی محلول‌پاشی فسفر، برهمکنش روی و نوع رقم و همچنین برهمکنش روی و فسفر ($p\leq0.01$) قرار گرفت. غلظت فسفر خوشه در مرحله گلدهی به‌طور معنی‌داری از تیمار محلول پاشی فسفر ($p\leq0.05$) و برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی فسفر و محلول‌پاشی روی ($p\leq0.01$) تأثیر پذیرفت، در حالی که غلظت روی خوشه تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی فسفر ($p\leq0.01$)، محلول‌پاشی روی ($p\leq0.01$)، نوع رقم ($p\leq0.01$) و برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی فسفر و محلول‌پاشی روی ($p\leq0.01$) و اثر متقابل روی و رقم ($p\leq0.05$) قرار گرفت.

جدول ۳- تجزیه واریانس غلظت روی و فسفر در اندام‌های ریشه، ساقه، برگ و خوشه گیاه برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی فسفر و روی در مرحله گلدهی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ZP2	ZR2	ZS2	ZL2	PP2	PR2	PS2	PL2
سال	۱	۰/۰۰۰ns	۰/۱۳ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۱۶ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns
تکرار(سال)	۴	۰/۶۹ns	۱۸/۸۰ns	۰/۲۴ns	۴۶/۹۶ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns
رقم	۱	۳۴/۱۰**	۶/۶۶ns**	۱۹/۹۶**	۷۸۱/۳۹**	۰/۰۰۶ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۲۱۵**
فسفر	۲	۱۳/۰۰**	۱۲۱/۴۱ns	۰/۷۸ns	۸۱۸/۶۵**	۰/۰۰۹*	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۴**	۰/۰۲۳**
روی	۲	۶۴/۱۱**	۵۹۲/۰۲**	۱۴/۹۹**	۴۱۰۵۵/۵۷**	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۶ns
سال×رقم	۱	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۵ns	۰/۰۰۰ns	۰/۲۴ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns
سال× فسفر	۲	۰/۰۰۰ns	۰/۰۲۳ns	۰/۰۰۰ns	۰/۲۷ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns
فسفر×رقم	۲	۳/۶۹ns	۱۳۹/۳۱ns	۰/۳۴ns	۲۴۶/۸۴*	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۴ns
سال×فسفر×رقم	۲	۰/۰۰۲ns	۰/۱۹ns	۰/۰۰۰ns	۰/۲۸ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns
سال×روی	۲	۰/۰۰۳ns	۰/۰۶ns	۰/۰۰۰ns	۰/۲۸ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns
رقم × روی	۲	۴/۷۴ns	۲۳۷/۴۱*	۴/۳۷**	۴۲۶/۵۲**	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۶ns
سال× روی× رقم	۴	۰/۰۰۱ns	۰/۱۶ns	۰/۰۰۰ns	۰/۵۸ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns
فسفر×روی	۴	۹/۳۶**	۱۰۴/۸۳ns	۰/۲۷ns	۱۰۸/۲۷ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۵ns
سال×فسفر×روی	۴	۰/۰۰۵ns	۰/۳۶ns	۰/۰۰۰ns	۱/۵۵ns	۰/۰۱۴**	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns
فسفر×روی×رقم	۴	۴/۸۸ns	۱۳۸/۴۰ns	۰/۳۹ns	۴۰/۱۲ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۱ns
سال×فسفر×روی×رقم	۴	۰/۰۰۰ns	۰/۰۶ns	۰/۰۰۰ns	۰/۳۲ns	۰/۰۰۶ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۰ns
اشتباه آزمایشی	۶۸	۱/۸۲	۵۹/۶۲	۰/۳۸	۶۴/۵۵	۰۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۸۶	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۹/۳۲	۲۴/۷۷	۲۰/۹۰	۱۵/۰۱	۱۳/۳۶	۱۳/۴۵	۱۴/۹۷	۱۶/۹۱

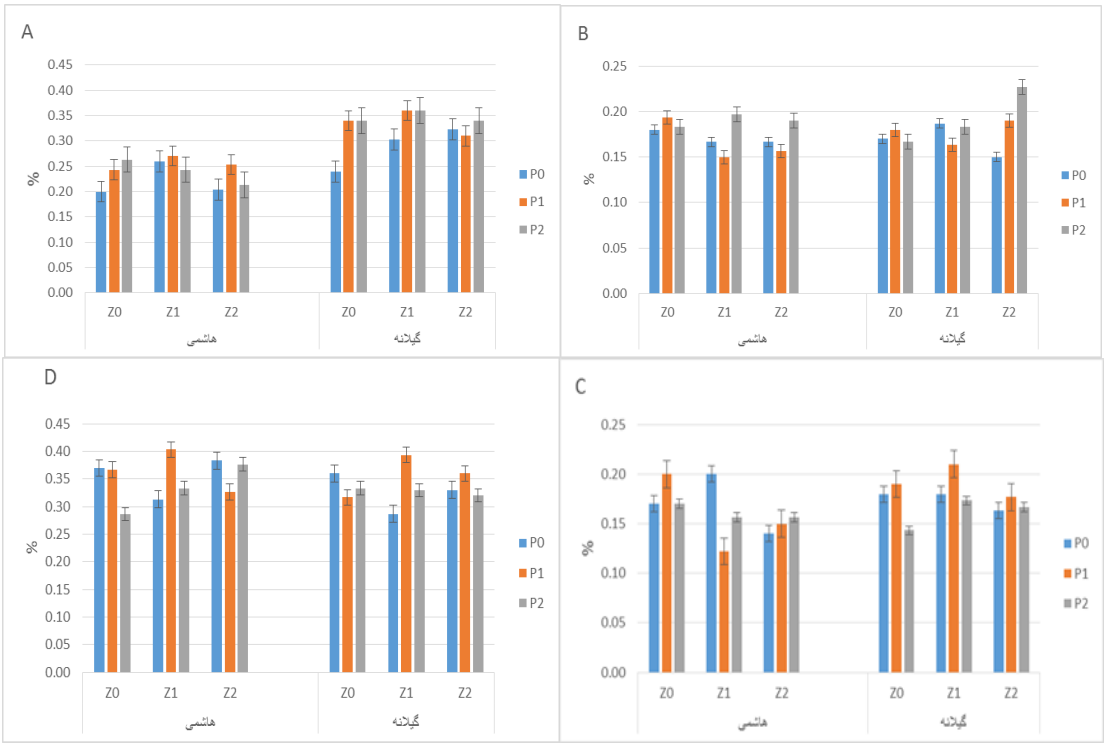
ns , * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. ZP2، ZR2، ZS2، ZL2 و PP2 به‌ترتیب: غلظت روی در ریشه، ساقه، برگ و خوشه گیاه برنج در مرحله یک هفته قبل از گلدهی ؛ PR2، PS2، PL2 و ZP2 به‌ترتیب: غلظت فسفر در ریشه، ساقه، برگ و خوشه گیاه برنج در مرحله یک هفته قبل از گلدهی



شکل ۳- تغییرات میانگین‌های مقدار روی در اندام‌های برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و فسفر در مرحله گلدهی

Zn0، Zn1 و Zn2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0 ، P1 و P2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ A، B، C و D: برگ، ساقه، ریشه و خوشه.

در مرحله گلدهی بالاترین غلظت روی در برگ، در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد که به‌ترتیب حدود ۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۴/۳ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۵/۹ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۳-A). بالاترین غلظت روی در ساقه در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد که به‌ترتیب حدود ۱۹ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۲/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۳/۷ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۳-B). بالاترین غلظت روی در ریشه در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۳۶ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۱/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۱/۴ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۳-C). بالاترین غلظت روی در خوشه در تیمارهای محلول‌پاشی با روی و فسفر پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۱۲۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (حدود سه برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۱۰۱/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۲/۸ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۳-D). به‌نظر می‌رسد که افزایش غلظت روی درخوشه به دلیل نیاز شدید گیاه در مرحله شروع خوشه و تشکیل دانه به روی باشد.



شکل ۴- تغییرات میانگین‌های مقدار فسفر در اندام‌های برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و فسفر در مرحله گلدهی Z0، Z1 و Z2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلولپاشی‌با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0 ، P1 و P2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ A، B، C وD: برگ، ساقه، ریشه و خوشه.

در مرحله گلدهی بالاترین غلظت فسفر در برگ در تیمارهای محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۰/۲۷ درصد برای رقم هاشمی (۱/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۰/۳۶ درصد برای رقم گیلانه (۱/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۴-A). در مرحله گلدهی بالاترین غلظت فسفر در ساقه همانند برگ در تیمارهای محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد که به ترتیب ۰/۱۹ درصد برای رقم هاشمی (۱/۱ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۰/۲۳ درصد برای رقم گیلانه (۱/۳ برابر افزایش نسبت

به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۴-B). در مرحله گلدهی بالاترین غلظت فسفر در ریشه در تیمارهای محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۰/۲۱ درصد برای رقم هاشمی (۱/۱۷ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۰/۲۰ درصد برای رقم گیلانه (۱/۱۶ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۴-C). در مرحله گلدهی بالاترین غلظت فسفر در خوشه در تیمارهای محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۰/۴۰ درصد برای رقم هاشمی (۱/۱ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۰/۳۹ درصد برای رقم گیلانه (۱/۱ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۴-D). به‌نظر می‌رسد که افزایش غلظت فسفر درخوشه به‌دلیل نیاز شدید گیاه در مرحله شروع خوشه و تشکیل دانه به فسفر می‌باشد.

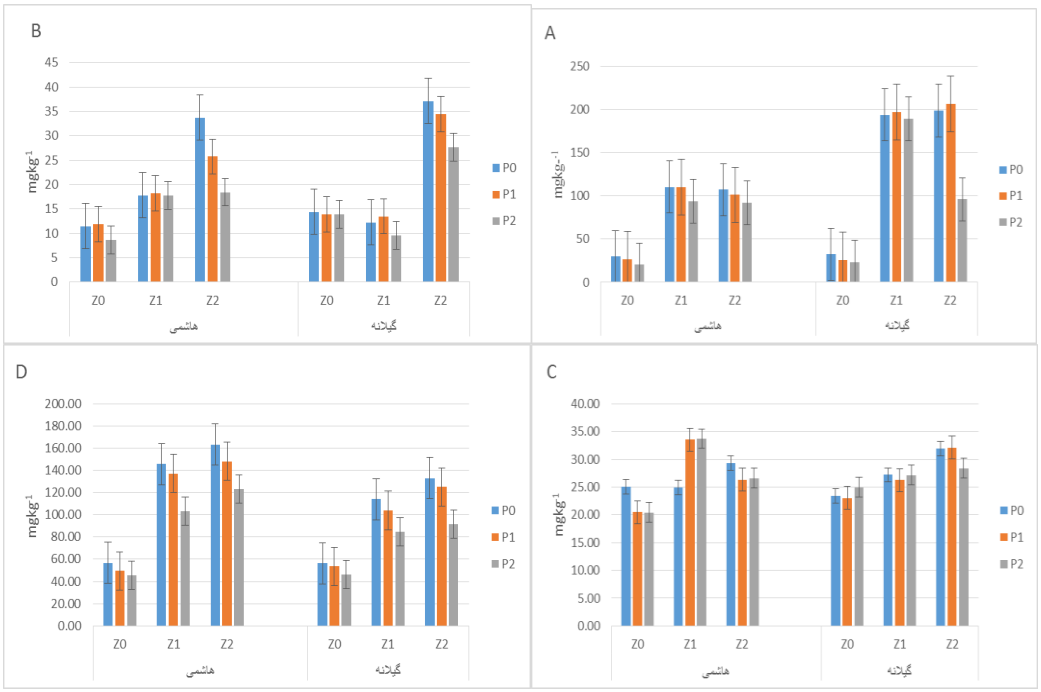
مرحله پرشدن دانه (رسیدگی)

نتایج تجزیه واریانس در مرحله رسیدگی نشان داد که از بین تیمارهای کودی تنها محلول‌پاشی روی بر غلظت روی ریشه ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشت، در حالیکه غلظت فسفر ریشه از نوع رقم و اثر متقابل فسفر و رقم ($p\leq0.05$) تاثیر پذیرفت (جدول ۴). غلظت روی برگ به طور معنی‌داری از تیمارهای محلول‌پاشی روی و نوع رقم ($p\leq0.01$) و تیمار محلول پاشی فسفر ($p\leq0.05$) و برهمکنش روی و رقم ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار پذیرفته و غلظت فسفر برگ نیز از محلول‌پاشی فسفر ($p\leq0.01$) و محلول‌پاشی روی ($p\leq0.01$) و نوع رقم ($p\leq0.01$) و اثر متقابل فسفر و رقم ($p\leq0.05$) به‌طور معنی‌داری متاثرگردید. غلظت روی ساقه به‌طور معنی‌داری از تیمارهای محلول‌پاشی روی و نوع رقم ($p\leq0.01$) و تیمار محلول پاشی فسفر ($p\leq0.05$) و برهمکنش روی و رقم ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار پذیرفته در حالی که غلظت فسفر ساقه تنها تحت تأثیر معنی‌دار رقم، فسفر و روی ($p\leq0.01$) و اثر متقابل فسفر و رقم ($p\leq0.05$) قرار گرفت. غلظت فسفر خوشه در مرحله رسیدن دانه به‌طور معنی‌داری از محلول‌پاشی روی، محلول‌پاشی فسفر ($p\leq0.01$) و برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی روی و رقم ($p\leq0.01$) تأثیر پذیرفت، در حالی که غلظت روی خوشه تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی فسفر ($p\leq0.01$)، محلول‌پاشی روی ($p\leq0.01$)، نوع رقم ($p\leq0.01$) و برهمکنش محلول‌پاشی فسفر و روی ($p\leq0.05$) و روی و رقم ($p\leq0.01$) قرار گرفت.

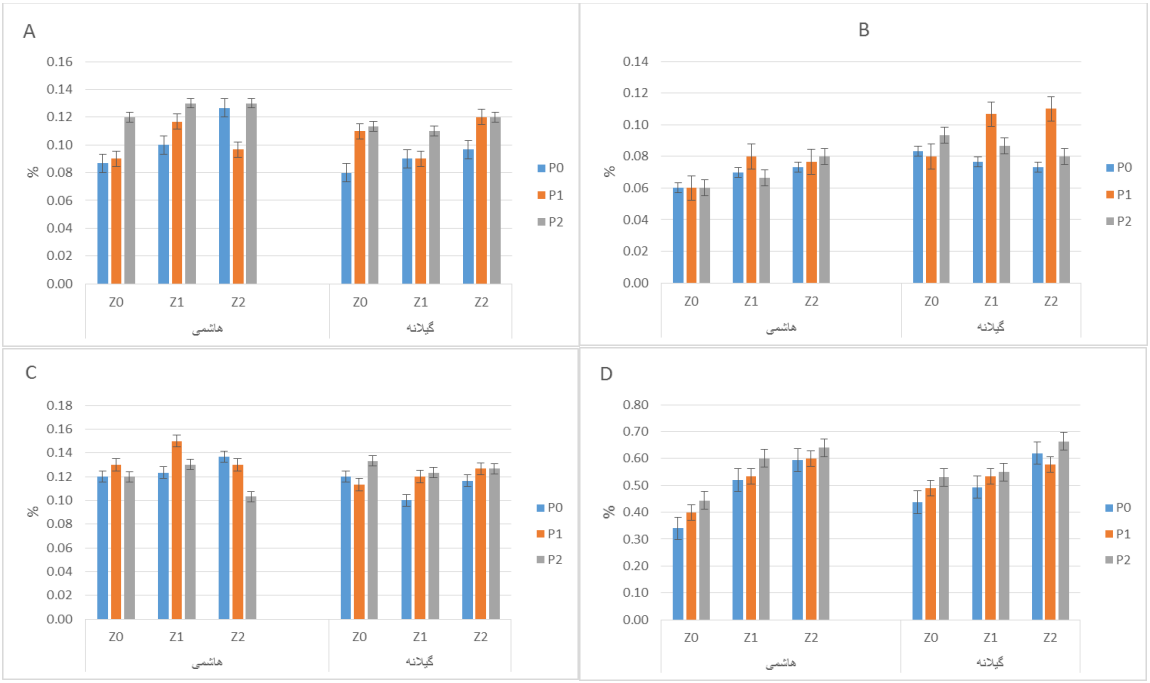
جدول ۴- تجزیه واریانس غلظت روی و فسفر در اندام‌های ریشه، ساقه، برگ و خوشه، شلتوک و دانه سفید برنج؛ ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی فسفر و روی در مرحله رسیدگی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		ZWR	ZP3	ZR3	ZS3	ZL3	PWR	PL3	PR3	PS3	PP3	Gpro
سال	۱	۰/۱۱^{ns}	۰/۳۴^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۱^{ns}
تکرار(سال)	۴	۳/۲۵^{ns}	۱۲/۹۲^{ns}	۱۸/۰۸^{ns}	۲۵/۵۶^{ns}	۵/۲۲^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۱/۸۷^{ns}
رقم	۱	۱۸۴/۲۱**	۹۲۹۷/۰۸**	۴/۳۲^{ns}	۲۸۹/۰۷**	۱۲۲/۵۶**	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۲*	۰/۰۱**	۰/۰۱^{ns}	۲/۶۰**
فسفر	۲	۸/۰۳**	۷۸۹۴/۳۶**	۰/۰۰۵^{ns}	۴۵/۸۵*	۲۱/۵۲*	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۱*	۰/۰۵**	۶/۸۰**
روی	۲	۴۲۲/۲۴**	۶۳۶۹۳/۹۸**	۴۳۷/۰۷**	۱۸۲۶/۸۷**	۴۹۹/۴۳**	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۲۷**	۲۳/۰۷**
سال×رقم	۱	۰/۲۵^{ns}	۰/۹۷^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۲^{ns}
سال× فسفر	۲	۰/۰۳^{ns}	۰/۶۰^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
فسفر×رقم	۲	۵/۷۶**	۲۹/۷۰^{ns}	۴/۳۲^{ns}	۱۰۱/۶۴**	۱/۶۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۱۰^{ns}
سال×فسفر×رقم	۲	۰/۱۹^{ns}	۰/۹۴^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۱^{ns}
سال×روی	۲	۰/۱۵^{ns}	۱/۱۷^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۱^{ns}
رقم × روی	۲	۲۶/۲۴**	۲۶۵۴/۳۰**	۱۲۷/۶۶^{ns}	۶۰/۵۲*	۳۰/۰۸*	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۳**	۰/۲۷**
سال× روی× رقم	۴	۰/۱۴^{ns}	۱/۹۲^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۱^{ns}
فسفر×روی	۴	۸/۲۲**	۸۴۵/۷۹*	۵۱/۸۰^{ns}	۵۲۶/۱۳**	۳/۳۲^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۶**
سال×فسفر×روی	۴	۰/۴۰^{ns}	۴/۰۸^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۳^{ns}
فسفر×روی×رقم	۴	۷/۱۷^{ns}	۱۰۶/۵۶^{ns}	۶۲/۷۶^{ns}	۲۶۸/۸۶**	۶/۵۴^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۱۹^{ns}
سال×فسفر×روی×رقم	۴	۰/۰۵**	۰/۳۷^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}
اشتباه آزمایشی	۶۸	۰/۴۳	۲۶۷/۲۷	۴۵/۰۹	۱۴/۴۳	۴/۴۱	۰/۰۰۰	۰/۱۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۳۱
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۰۰	۱۶/۵۱	۲۴/۹۱^{ns}	۱۹/۰۲	۲۲/۳۸	۲/۸۴^{ns}	۱۵/۵۱	۱۶/۴۲^{ns}	۲۳/۶۰	۱۲/۷۵	۱/۸۹

ns، *و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. ZR3، ZS3، ZL3 ، ZP3 و ZWR به‌ترتیب: غلظت روی در ریشه، ساقه، برگ و خوشه گیاه برنج در مرحله یک هفته قبل از گلدهی؛ PR3، PS3، PL3 ، PP3 و PWR به‌ترتیب: غلظت فسفر در ریشه، ساقه، برگ و خوشه گیاه برنج در مرحله رسیدگی دانه؛ Gpro: درصد پروتئین دانه



شکل ۵- تغییرات میانگین مقدار روی در اندام‌های برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و فسفر در مرحله رسیدگی Z0، Z1 و Z2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلولپاشی‌با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0 ، P1 و P2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ A، B، Cو D: برگ، ساقه، ریشه و خوشه.



شکل ۶- تغییرات میانگین مقدار فسفر در اندام‌های برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و فسفر در مرحله رسیدگی Z0، Z1 و Z2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلولپاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0، P1 و P2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ A، B، Cو D: برگ، ساقه، ریشه و خوشه.

در مرحله رسیدن دانه بالاترین غلظت روی در برگ در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌همراه محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به‌دست آمد که به‌ترتیب شامل ۱۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۳/۷ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۲۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۶/۳ برابر افزایش نسبت به شاهد) بود. همچنین این نتایج حاکی از اختلاف معنی‌دار آنها با یکدیگر می‌باشد (شکل ۵-A). بالاترین غلظت روی در ساقه همانند برگ در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌همراه محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۳۳/۷ میلی-گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۲/۹ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۲/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۵-B). بالاترین غلظت روی در ریشه در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌همراه محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۳۳/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۱/۳ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۳۲ میلی-گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۱/۳ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۵-B). بالاترین غلظت روی در خوشه در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌همراه محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به-دست آمد که به‌ترتیب ۱۶۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (حدود سه برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۱۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۲/۳ برابر افزایش نسبت به شاهد) و اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۵-B). افزایش غلظت روی درخوشه به‌دلیل نیاز شدید گیاه در مرحله شروع خوشه و تشکیل دانه به روی می‌باشد.

در مرحله رسیدگی دانه بالاترین غلظت فسفر در برگ در تیمارهای محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌همراه با محلول‌پاشی با فسفرو روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۰/۱۳ درصد برای رقم هاشمی (۱/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۰/۱۲ درصد برای رقم گیلانه (۱/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۶-A). دراین مرحله بالاترین غلظت فسفر در ساقه همانند برگ در تیمارهای محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۰/۰۸ درصد برای رقم هاشمی (۱/۳ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۰/۱۱ درصد برای رقم گیلانه (۱/۳ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۶-B). همچنین بالاترین غلظت فسفر در ریشه برای رقم هاشمی در تیمارهای محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی حاصل گردید که ۰/۱۵ درصد (۱/۲ برابر افزایش نسبت به شاهد) و برای رقم گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به‌همراه محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی و ۰/۱۳ درصد (یک برابر افزایش نسبت به شاهد) که حاکی از اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۶-C). در این مرحله بالاترین غلظت فسفر در خوشه در تیمارهای محلول-پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی در همراهی با محلول‌پاشی با فسفرو روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۰/۶۴ درصد برای رقم هاشمی (حدود دو برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۰/۶۶ درصد برای رقم گیلانه (۱/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۶-D). افزایش غلظت فسفر درخوشه به دلیل نیاز شدید گیاه در مرحله شروع خوشه و تشکیل دانه به فسفر می‌باشد (Malakooti and Kavoosi, 2004).

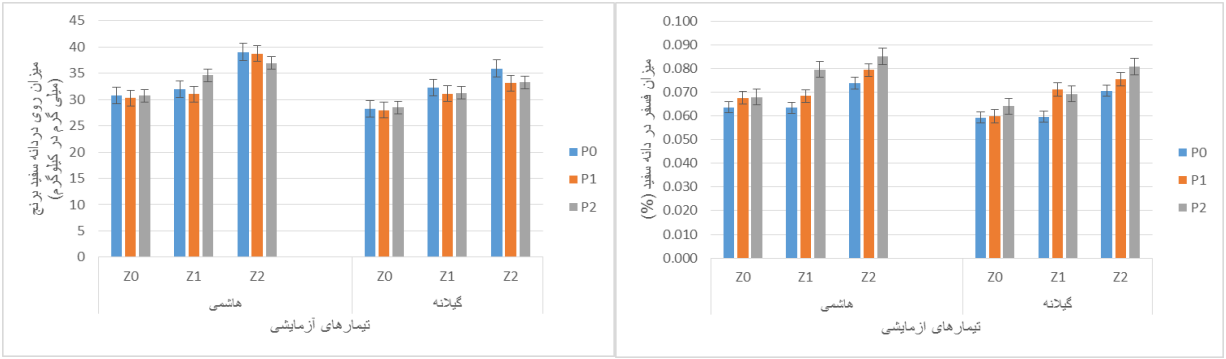
Khayri *et al.* (2017) در ارزیابی اثر روی و سیلیس به روش‌های محلول‌پاشی نانوذرات و خاک مصرف بر برخی از صفات فیزیولوژیکی گیاه برنج بیان داشتند که بیش‌ترین غلظت جذب روی کاه ۲۳۱و ۲۳۷ گرم در هکتار مربوط به تیمارهای محلول‌پاشی و مصرف خاکی بوده و با عدم مصرف کود، غلظت جذب حدود ۱۷ درصد کاهش یافت. Hussain *et al.* (2012) وRehman (2012)، گزارش دادند که کاربرد روی به‌طور قابل توجهی غلظت روی در کاه برنج را افزایش می‌دهد. گزارش شده است که غلظت روی ساقه‌ها به‌طور معنی‌داری با کاربرد کود حاوی روی در هر دو ژنوتیپ حساس و مقاوم برنج به کمبود روی افزایش یافت و بیش-ترین افزایش غلظت روی در بالاترین سطح روی مورد استفاده درمقایسه با شاهد به‌دست آمد (Kabeya and Shankar, 2013). Fageria et al. (2002) نیز گزارش دادند که با مصرف روی در خاک‌های اکسی سول غلظت روی در اندام‌های گیاه برنج به‌طور قابل توجهی (در حدود دو برابر) افزایش یافت. MahmoudSoltani *et al.* (2017) گزارش نمودند که با مصرف روی در زمین‌های با کمبود روی غلظت روی در برگ، ساقه، ریشه و دانه برنج به‌ترتیب ۶۰، ۷۰، ۴۰و ۴۴ درصد افزایش یافت.

در آزمایشی مشخص شد که مصرف ۱۳/۵ کیلوگرم روی در هکتار موجب افزایش غلظت روی در دانه برنج گردید (Nathan *et al.*, 2005 a and b). در پژوهشی دیگر، با افزایش جذب روی

توسط گیاهان، روی در همه اندام‌های گیاه تجمع پیدا کرد که در اندام‌های رویشی به‌خصوص در ساقه و غلاف برگ (۴۰۰-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیش‌تر از اندام‌های زایشی (در دانه ۵۰-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (Jiang *et al.*, 2007). گزارش شده است که غلظت روی گیاه برنج در تیمار شاهد برابر ۶۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و با کاربرد سولفات‌روی به میزان ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب برابر ۶۴/۳ و ۶۴/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت (Nathan *et al.*, 2005 a). نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که محلول‌پاشی سولفات‌روی در جبران کمبود عنصر روی و افزایش غلظت روی دانه برنج مؤثر بوده است (Jiang *et al.*, 2007; Stomph *et al.*, 2011). گزارش شده است که مصرف خاکی سولفات‌روی در زمان پنجه‌زنی یا آغاز خوشه‌دهی در گیاه برنج باعث افزایش غلظت روی در خاک و افزایش این عنصر در گیاه و دانه شد. به‌طوری که افزایش غلظت روی در بافت های سبز گیاه باعث افزایش ۲/۵ برابری غلظت روی دانه نسبت به تیمار شاهد شد و این افزایش با بالا رفتن غلظت روی قابل جذب خاک، بهبود جذب روی توسط گیاه و افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در دوره پر شدن دانه همراه بود (Rehman, 2014). در خاک های لوم شنی درمنطقه رودرور در هند، حداکثر غلظت روی در کاه با سه بار محلول‌پاشی با محلول ۰/۲ درصد سولفات‌روی در مراحل مختلف کشت گیاه برنج ثبت شد (Reddy *et al.*, 1987). Das *et al.* (2004) گزارش دادند که غلظت روی در کاه برنج به‌طور معنی‌داری با محلول‌پاشی روی پنج در هزار در خاک‌های لوم سیلتی افزایش یافت. Pooniya and shivay (2011) گزارش داد که استفاده از محلول‌پاشی با محلول ۰/۲ درصد سولفات‌روی به ترتیب در حداکثر پنجه‌زنی، قبل از گلدهی و گلدهی غلظت روی را به میزان قابل توجهی در کاه (۱۷۸/۵ میلی گرم در کیلوگرم در لیتر) افزایش داد.

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 ($p\leq0.01$) تأثیر معنی‌دار داشت. این در حالی است که غلظت فسفر دانه از هیچ یک از تیمارهای محلول‌پاشی روی، محلول‌پاشی فسفر و نوع رقم تأثیر نپذیرفت. (جدول ۴).



شکل ۷- تغییرات میانگین مقدار فسفر و روی در دانه سفید برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و فسفر Z0، Z1 و Z2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی‌با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0 ، P1 و P2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه

بالاترین میزان صفت غلظت روی در آرد برنج در تیمار محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه به‌دست آمده است که به‌ترتیب ۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۲۷ درصد افزایش نسبت به شاهد) و ۳۵/۳ درصد برای رقم گیلانه (۲۷/۳درصد افزایش نسبت به شاهد) که حاکی از اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۷ چپ). 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 یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه است.

به‌نظر 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 سولفات‌روی می‌تواند به بالاتر بودن غلظت محلول سولفات‌روی مرتبط باشد. به اعتقاد پژوهشگران محلول‌پاشی با ترکیبات روی باعث افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در طول دوره پر شدن دانه می‌شود (Rehman *et al.*, 2012). گزارش شده محلول‌پاشی کود روی در مرحله آبستنی و مرحله گرده‌افشانی برنج سبب انتقال بیش‌تر روی از برگ پرچم به دانه، هم در ژنوتیپ‌های با غلظت روی دانه بالا و هم در ژنوتیپ‌های با مقدار روی پایین شد (Wu *et al.*, 2010).

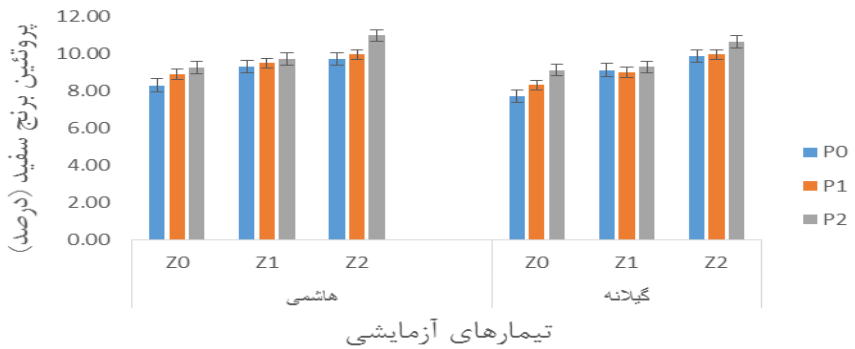
افزایش غلظت روی دانه برنج در اثر محلول‌پاشی کود روی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Jiang *et al*., 2007; Stomph *et al*., 2011). در پژوهشی افزایش معنی‌دار غلظت روی دانه برنج با محلول‌پاشی کود روی از نوع سولفات‌روی و کلات روی را گزارش کردند (Karak and Das, 2006). در تحقیق مشابهی که با محلول‌پاشی سولفات‌روی پنج درصد در مرحله شروع خوشه‌دهی برنج انجام شد گزارش گردید که محلول‌پاشی در افزایش دو برابری مقدار روی دانه مؤثر بود (Phattarakul *et al*., 2011). همچنین گزارش شده است که محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج درصد در آغاز خوشه‌دهی در مقایسه با مصرف کود روی در خاک در همان مرحله غلظت روی دانه را ۱/۸ برابر بیش‌تر کرد. به اعتقاد این پژوهشگران محلول‌پاشی می‌تواند از تثبیت روی در خاک جلوگیری کرده، اما زمان محلول‌پاشی برای افزایش غلظت روی دانه باید در اطراف زمان گلدهی باشد (Rehman *et al*., 2012). میزان افزایش غلظت روی دانه به عوامل متعددی از جمله ژنوتیپ، نوع کود و غلظت آن و زمان مصرف آن بستگی دارد. گزارش شده که تنوع ژنوتیپی در غلظت روی دانه برنج ممکن است به‌علت تفاوت در فرآیندهای فیزیولوژیکی تعیین کننده تجمع روی در دانه باشد (Gao *et al*., 2012). همچنین، گزارش شده است که محلول‌پاشی سولفات‌روی کلاته باعث افزایش غلظت روی به مقدار ۴۵-۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در برنج قهوه‌ای و ۳۷-۹ میلی‌گرم در کیلوگرم در برنج سفید شد (Fageria *et al*., 2002).

بالاترین میزان صفت غلظت فسفر در آرد برنج در تیمار محلول‌پاشی با سولفات‌روی و فسفر پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه به‌دست آمده است که به‌ترتیب برای رقم هاشمی ۳۳/۷ درصد افزایش نسبت به شاهد و برای رقم گیلانه ۳۶/۲درصد افزایش نسبت به شاهد است که حاکی از اختلاف عددی و نه معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۷راست).

فسفر در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی 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 محلول‌پاشیبسیار نادر است، اما Abbasian and Aminpanah (2017) در مطالعات خود نشان دادند که توانایی برنج در انتقال فسفر جذب شده تابع قوانین فیزیولوژیکی منبع و مخزن است. آن‌ها همچنین بیان داشتند که مصرف فسفر اثر معنی‌داری بر محتوای فسفر دانه‌های برنج داشت. 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 Yazdanimotlagh (2013) و Tuyen *et al*. (2006) و Islam *et al*. (2008) نشان دادند که کاربرد کود فسفر در زمان و میزان مناسب به افزایش غلظت فسفر دانه می‌انجامد.

میزان پروتئین دانه (برنج سفید)

نتایج تجزیه واریانس صفت میزان پروتئین آرد برنج (برنج سفید) نشان داد که تیمار محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار (یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه)، محلول‌پاشی فسفر، نوع رقم، و اثرهای متقابل روی و رقم، و روی و فسفر ($p\leq0.01$)، بر این صفت اثر معنی‌دار داشت (جدول ۴). بالاترین میزان پروتئین آرد برنج در تیمار محلول-پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه همراه با تیمار محلول‌پاشی با فسفر پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی 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 (۳۸/۲درصد افزایش نسبت به شاهد) که حاکی از اختلاف عددی و نه معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۸).



شکل ۸- مقایسه میانگین پروتئین برنج سفید در برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و فسفر

Z0، Z1 و Z2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0 ، P1 و P2 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه

نتایج تحقیقات نشان داده است که در شرایط کمبود روی، فعالیت آنزیم RNA پلیمراز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می‌یابد. در نتیجه سنتز پروتئین با کاهش مواجه می‌شود. بنابراین در صورت در دسترس بودن روی برای غلات، درصد پروتئین دانه افزایش می‌یابد (Marshner, 2011). MahmoudSoltani *et al.* (2016) نشان دادند که با کاربرد تیمارهای روی میزان پروتئین دانه کامل، سبوس و برنج سفید به‌ترتیب ۱۲/۳، ۸ و ۲۷ درصد افزایش یافته و غلظت روی برنج سفید به‌طور معنی‌داری با میزان پروتئین دانه سفید (۰/۹۱**) همبستگی دارد. همچنین Fageria *et al.* (2002) 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، چرا که عنصر روی یک عنصر مهم و ضروری هم از نظر ساختار پروتئین و هم از نظر فعال سازی آنزیم‌های مؤثر بر تولید پروتئین هستند.

رگرسیون و همبستگی خطی بین غلظت روی و فسفردر اندام‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد برنج

ضریب‌های همبستگی خطی بین غلظت روی و فسفردر اندام‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد برنج و همچنین میزان پروتئین دانه در جدول (۶) نشان داده شده است. بیش‌ترین ضریب همبستگی خطی بین غلظت روی در خوشه در مرحله رسیدن دانه با غلظت روی در برگ در مرحله گلدهی (۰/۷۸**) و غلظت روی درساقه در مرحله رسیدن دانه (۰/۵۴**) بوده و بیش‌ترین ضریب همبستگی خطی بین غلظت فسفر در مرحله رسیدن دانه با غلظت روی در برگ درمرحله گلدهی (۰/۵۲**) و غلظت روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه (۰/۴۶**) می باشد. همچنین بیش‌ترین ضریب همبستگی خطی بین غلظت روی دانه با غلظت روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه (۰/۵۹**) و غلظت فسفر در خوشه در مرحله رسیدن دانه (۰/۴۸**) به‌دست آمده است. این در حالیست که میزان پروتئین دانه به ترتیب با غلظت روی دانه (۰/۸۵**)، غلظت فسفر در خوشه در مرحله رسیدن دانه (۰/۵۶**) و غلظت روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه (۰/۴۲**) همبستگی مثبت و با غلظت فسفر در مرحله پنجه زنی رابطه منفی (۰/۵۰**-) داشته است.

رابطه شماره ۱ GZn=45.16+ 0.05 ZP3- 25.08 Pl1-17.86 PL2-0.03 ZP2+ 0.12 ZS3

رابطه شماره ۲ GP= -1.59+ 0.23 GZ + 8.67 PL3+ 3.64 PL2- 0.03 ZS3+2.04 PR3+5.44 PR2

اثر متقابل مقادیر عناصر روی و فسفر در اندام‌های گوناگون گیاه برنج در مراحل گوناگون رشد با غلظت روی و مقدار پروتئین برنج سفید با استفاده از مدل رگرسیونی چندمتغیره خطی گام به گام نشان می دهد که متغیرهای غلظت روی در خوشه در مرحله پرشدن دانه، غلظت فسفر برگ در مرحله پنجه زنی، غلظت فسفر برگ در مرحله گلدهی، غلظت روی در خوشه در مرحله گلدهی و غلظت روی در ساقه در مرحله پرشدن دانه رابطه معنی‌داری با غلظت روی برنج سفید داشتند. این پنج متغیر بر پایه ضریب تبیین تعدیل شده ۶۷ درصد از تغییرات غلظت روی در برنج سفید را تشریح می‌نمایند (جدول ۵). در میان این متغیرها غلظت روی در خوشه در مرحله پرشدن دانه بیش‌ترین سهم را در تغییرات مقدار روی در برنج سفید در این مدل داشته و به‌نظر می‌رسد این متغیر مناسب‌ترین و دردسترس‌ترین منبع تغذیه روی برای افزایش روی در دانه و در نهایت برنج سفید می‌باشد.

جدول ۵ -معادله رگرسیون بین صفات

صفت اصلی	اجزای معادله	اجزای معادله	ضرائب	R تصحیح شده معادله	معنی‌داری
روی دانه (GZn)	(Constant)	ضریب ثابت معادله	۴۵/۱۶	۰/۶۸	۰/۰۰۰
	ZP3	مقدار روی در خوشه مرحله رسیدن دانه	۰/۰۵		۰/۰۰۰
	PL1	مقدار فسفر برگ مرحله پنجه زنی	-۲۵/۰۸		۰/۰۰۰
	PL2	مقدار فسفر برگ مرحله گلدهی	-۱۷/۸۶		۰/۰۰۱
	ZP2	مقدار روی در خوشه مرحله گلدهی	-۰/۰۳		۰/۰۰۵
	ZS3	مقدار روی در ساقه مرحله رسیدن دانه	۰/۱۲		۰/۰۱۰
پروتئین دانه (GPro)	(Constant)	ضریب ثابت معادله	-۱/۵۹	۰/۸۴	۰/۰۷۰
	GZ	مقدار روی دانه	۰/۲۳		۰/۰۰۰
	PL3	مقدار فسفر در خوشه مرحله رسیدن دانه	۸/۶۷		۰/۰۰۹
	PL2	مقدار فسفر در برگ مرحله گلدهی	۳/۶۴		۰/۰۰۱
	ZS3	مقدار روی در ساقه مرحله رسیدن دانه	-۰/۰۳		۰/۰۰۳
	PP3	مقدارفسفر در خوشه مرحله رسیدن دانه	۲/۰۴		۰/۰۱۴
	PR2	مقدارفسفر درریشه مرحله گلدهی	۵/۴۴		۰/۰۱۷

جدول ۶- ضرائب همبستگی خطی بین غلظت روی و فسفر در اندام‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد برنج (n=۳۶)

	Pl1	Zl1	PR1	ZR1	PS1	ZS1	Zk2	Pk2	ZL2	PL2	ZS2	PS2	ZR2	PR2	ZL3	PL3	ZR3	PR3	PS3	ZS3	ZK3	PK3	GZ	GP
Pl1	۱																							
Zl1	۰/۰۴	۱																						
PR1	۰/۱۴	۰/۰۱	۱																					
ZR1	-۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۱۶	۱																				
PS1	۰/۱۰	-۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۷۴	۱																			
ZS1	-۰/۳۸**	۰/۰۹	-۰/۲۰	۰/۲۲۸	۰/۱۳	۱																		
Zk2	۰/۰۳	۰/۰۷	-۰/۰۲	۰/۰۱۷	/۱۷۳	۰/۰۷۳	۱																	
Pk2	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۰	-۰/۲۲۹	-۰/۰۸	-۰/۱۳	۰/۳۱۹*	۱																
ZL2	-۰/۰۸	۰/۰۶	-۰/۱۳	۰/۰۵۵	-۰/۰۱	-۰/۱۰	۰/۲۶۵	۰/۰۵	۱															
PL2	۰/۰۶	-۰/۲۱	-۰/۱۵	-۰/۰۱۶	۰/۰۵	-۰/۱۵	-۰/۱۹۴	-۰/۱۶	۰/۱۹۸	۱														
ZS2	-۰/۱۱	۰/۰۶	-۰/۱۰	۰/۰۸۲	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۳۲۰*	۰/۱۶	۰/۴۴۲**	-۰/۲۴	۱													
PS2	-۰/۰۰	-۰/۰۸	۰/۲۰	-۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۰۶	-۰/۲۳۱	-۰/۳۰*	-۰/۰۹۰	۰/۰۰	-۰/۱۰	۱												
ZR2	-۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۱۷۸	-۰/۲۴	-۰/۰۲	-۰/۰۲۶	-۰/۲۵	۰/۳۷۳**	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۰۴	۱											
PR2	-۰/۱۶	-۰/۲۴	۰/۱۲	-۰/۰۰۹	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۳۰۹*	۰/۱۳	-۰/۰۶۰	۰/۰۴	-۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۰۷	۱										
ZL3	۰/۰۴	-۰/۱۱	-۰/۱۵	-۰/۱۴۶	۰/۰۳	-۰/۱۵	۰/۲۳۰	-۰/۰۲	۰/۷۶۶**	۰/۳۰*	۰/۱۸	-۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۰۱	۱									
PL3	-۰/۱۹	-۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۴۱	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۰۴۶	-۰/۰۲	۰/۱۲۳	-۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۴	-۰/۱۳	-۰/۱۳	-۰/۱۱	۱								
ZR3	-۰/۰۲	-۰/۰۴	-۰/۱۷	۰/۰۴۰	۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۲۹۴*	۰/۱۵	۰/۳۵۷**	-۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۲	-۰/۲۴	-۰/۰۱	۰/۳۵*	۰/۱۷	۱							
PR3	-۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۲۸۶*	-۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۲۱۰	۰/۲۲	۰/۰۵۱	-۰/۰۳	۰/۱۱	-۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۳۰*	۰/۰۸	۱						
PS3	۰/۰۴	-۰/۳۲*	-۰/۰۳	-۰/۲۱۶	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۱۰۵	۰/۰۷	۰/۲۳۵	۰/۳۲*	-۰/۱۱	-۰/۰۴	-۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۵۳**	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۱۸	۱					
ZS3	۰/۰۹	۰/۰۶	-۰/۰۲	۰/۰۵۵	۰/۱۳	-۰/۰۹	۰/۱۲۶	۰/۱۶	۰/۶۵۲**	۰/۱۶	۰/۱۷	-۰/۲۶	۰/۰۹	-۰/۱۷	۰/۵۱**	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۲۲	۱				
ZK3	-۰/۰۱	۰/۲۶	-۰/۰۷	۰/۰۶۶	-۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۲۳۱	۰/۱۶	۰/۷۸۳**	-۰/۰۹	۰/۴۹**	-۰/۲۲	۰/۳۳*	-۰/۲۰	۰/۵۱**	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۵۴**	۱			
PK3	-۰/۲۱	-۰/۰۳	-۰/۲۲	۰/۰۰۳	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۰۰	-۰/۰۳	۰/۵۲۵**	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۶	-۰/۲۷*	۰/۲۶	۰/۳۸**	۰/۳۵**	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۵۲**	۰/۴۶**	۱		
GZ	۰/۴۹**	۰/۲۵	-۰/۰۳	۰/۱۶۷	-۰/۱۸	۰/۲۷*	۰/۴۴۲**	-۰/۲۷*	۰/۳۰*	-۰/۰۲	۰/۶۱	-۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۳۱*	۰/۲۲	۰/۱۲	-۰/۰۹	۰/۴۰**	۰/۵۹**	۰/۴۷**	۱			
GP	-۰/۵۰**	۰/۰۹	-۰/۰۰	۰/۱۸۵	-۰/۱۰	۰/۳۱*	-۰/۰۶۶	۰/۰۷	۰/۳۸۷**	-۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۱	-۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۴۷**	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۴۲**	۰/۵۶۹**	۰/۸۵**	۱

P ، Z ، L ، S ، R ، K ، G به‌ترتیب عبارتند از فسفر، روی، برگ، ساقه، ریشه، خوشه و دانه؛ ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب مرحله پنجه زنی، گلدهی و رسیدن دانه؛ ns، *، ** به‌ترتیب عبارتند از عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪

نتایج مطالعات MahmoudSoltani etal. (2017)، Pfeiffer and McClafferty (2007) و White and Broadley (2009) نشان دادند که روی جذب شده توسط گیاه برنج درمراحل پیش از رسیدن دانه در اندام‌های گوناگون گیاه برنج ذخیره و در مرحله رسیدن دانه به‌همراه روی جذب شده به دلیل رهاسازی دوباره این عنصر توسط برگ وساقه به نقاط موردنیاز مانند خوشه در مرحله گلدهی، و خوشه و دانه در زمان پرشدن دانه منتقل شود. بنابراین انباشت روی در خوشه در زمان رسیدن دانه امری بدیهی بوده و به‌همین دلیل غلظت روی در دانه از غلظت روی در خوشه در مرحله پرشدن دانه تاثیر بیش‌تر می‌پذیرد (رابطه ۱). علاوه بر این‌ها ضرائب بزرگ و منفی مقادیر فسفر در برگ مراحل پنجه‌زنی و گلدهی با غلظت روی دانه حاکی از این نکته است فسفر می‌تواند تاثیر منفی در جذب، نگاهداری و انتقال روی دربافت‌های هدف در گیاه برنج داشته باشد که می‌تواند به یکی از دلائل زیر باشد. اولین مورد به رشد قابل توجه گیاه همزمان با مصرف کودهای فسفر باز می‌گردد که باعث کاهش غلظت روی به ازای وزن بوته شده و به "اثر رقت" شهرت دارد. فرضیه دوم درباره تأثیر کمبود روی بر افزایش نفوذ پذیری غشای سلول ریشه به علت تخریب ریشه و یا عدم کارکرد صحیح فعالیت‌های بارگیری آوند چوبی و در نتیجه کاهش معنی‌دار انتقال روی از ریشه به ساقه مرتبط است. دیدگاه سوم به کاهش توسعه ریشه و فعالیت‌های قارچ‌های میکوریزا در اثر مصرف زیاد فسفر می‌باشد که در اثر آن سطح جذب روی در خاک کاهش یافته و گیاه دچار کمبود می‌شود (Hafeez *et al*., 2013).

همچنین مدل رگرسیونی چند متغیره خطی گام به گام برازش داده شده بین میزان پروتئین برنج سفید و سایر مقادیر فسفر و روی در بافت‌های گیاه برنج در مراحل گوناگون رشد حاکی از این است که متغیرهای غلظت روی در دانه، غلظت فسفر برگ در مرحله‌های گلدهی و پرشدن دانه، غلظت فسفر ریشه در مراحل گلدهی و پر شدن دانه، غلظت روی در ساقه در مرحله پرشدن دانه رابطه معنی‌داری با میزان پروتئین دانه داشته و به‌نظر می‌رسد این شش متغیر بر پایه ضریب تبیین تعدیل شده ۸۴/۲

درصد از تغییرات میزان پروتئین در برنج سفید را تشریح می‌نمایند (جدول ۵). در میان این متغیرها غلظت روی در دانه بیش‌ترین سهم را در تغییرات مقدار پروتئین در برنج سفید در این مدل داشته و به‌نظر می‌رسد این متغیر مناسب‌ترین و در دسترس‌ترین منبع تغذیه روی برای افزایش پروتئین در دانه و نهایتا برنج سفید می‌باشد. نتایج تحققیات نشان داده است که در شرایط کمبود روی، فعالیت آنزیم RNA پلیمراز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می‌یابد. در نتیجه سنتز پروتئین با کاهش مواجه می‌شود. بنابراین در صورت در دسترس بودن روی برای غلات، درصد پروتئین دانه افزایش می‌یابد (Marshner, 2011). MahmoudSoltani *et al*. (2016) نشان دادند که با کاربرد تیمارهای روی میزان پروتئین دانه کامل، سبوس و برنج سفید به‌ترتیب ۱۲/۳، ۸ و ۲۷ درصد افزایش یافته و غلظت روی برنج سفید به‌طور معنی‌داری با غلظت پروتئین دانه سفید (۰/۹۱**) همبستگی دارد. همچنین Fageria *et al*. (2002) 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، چرا که عنصر روی یک عنصر مهم و ضروری هم از نظر ساختار پروتئین و هم از نظر فعال‌سازی آنزیم‌های مؤثر بر تولید پروتئین هستند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه و محلول‌پاشی با فسفر پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه و نوع رقم برنج به‌تنهایی یا در کنار یکدیگر بر روی غلظت روی برگ، ساقه و ریشه در مرحله خوشه‌دهی، غلظت روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه در مرحله گلدهی و رسیدگی و نیز غلظت روی و میزان پروتئین آرد تاثیر معنی‌دار دارند. در بیش‌تر موارد بالاترین میزان صفات ذکر شده در تیمار محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه حاصل شد. اگرچه محلول‌پاشی با فسفر پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه نیز اثر چشمگیری بر برخی از این صفات داشت. همچنین بالاترین غلظت روی در دانه برنج سفید در تیمار محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار (یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد از خود نشان داد. همچنین روند تغییرات غلظت پروتئین برنج سفید نیز از غلظت روی در دانه تبعیت کرده و هر دو در یک تیمار (محلول‌پاشی با سولفات‌روی پنج در هزار؛ یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه) به بیشینه خود رسید. 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 سولفات‌روی پنج در هزار (یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه) برترین تیمار برای صفات کیفی هر دو رقم برنج هاشمی و گیلانه بود. نتایج همچنین بر این نکته تاکید دارد که غلظت روی در دانه مهم‌ترین عامل افزایش میزان پروتئین در دانه می‌باشد و پس از آن غلظت روی و فسفر در خوشه و ساقه در مرحله رسیدگی در ارتقای کیفیت دانه تاثیر به‌سزایی دارد. برای دست یابی به نتایج دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود اثر محلول‌پاشی عناصر روی و فسفر (با غلظت‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر) بر فتوسنتز و پارامترهای وابسته به شاخص‌های فتوسنتزی در گیاه برنج، جذب سایر عناصر غذایی (مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و غلظت اسید فیتیک دانه ارقام برنج هاشمی و گیلانه نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

از موسسه تحقیقات برنج کشور برای فراهم نمودن امکانات و آزمایشگاه شیمی بخش تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور برای کمک‌های فنی سپاس‌گزاری می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

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'. Journal of Crop Physiology, 11(4): 889-904.(In Farsi).*

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

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

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

Das, D. K., Karak, T., and Maiti, D. (2004). Effect of foliar application of different sources of Zn on the changes in content, uptake and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Indian Society of Agricultural Science*, *25*(2), 253-256.

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

FAO. Rice market monitor. Vol. XVI, Trade and Markets Division. Rome: FAO; 2018.

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

Graham, R. D., Welch, R. M., Saunders, D. A., Ortiz-Monasterio, I., Bouis, H. E., Bonierbale, M., and Meisner, C. A. (2007). Nutritious subsistence food systems. *Advances in Agronomy*, *92*, 1-74.

Hafeez, B., Khanif, Y. M., and Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition-a review. *Journal of Experimental Agriculture International*, 374-391.

He, Y., Shen, Q., Kong, H., Xiong, Y., & Wang, X. (2005). Effect of soil moisture content and phosphorus application on phosphorus nutrition of rice cultivated in different water regime systems. *Journal of Plant Nutrition*, *27*(12), 2259-2272.

Hirschi, K. (2008). Nutritional improvements in plants: time to bite on biofortified foods. *Trends in Plant Science*, *13*(9), 459-463.

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

IranNejad, H., and Shahbazian, N. (2002). *Cereals Agronomy. Second edition*, Karand Press. (In Farsi).

Islam, M.A., Islam, M.R. and Sarker, A.B.S. (2008). Effect of phosphorus on nutrient uptake of japonica and indica rice. *Journal of Agriculture & Rural Development*. 6(1&2): 7-12.

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

Kabeya, M. J., and Shankar, A. G. (2013). Effect of different levels of zinc on growth and uptake ability in rice zinc contrast lines (*Oryza Sativa* L.). *Asian Journal of Plant Science and Research*, *3*(3), 112-116.

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.

Khayri, N., Ajamnowroozi, H., Torabi, B. and Mobser, H.R. (2017). The evaluation of nano particle of Zinc and Silicon foliar and soil broad application on some physiological characters of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Environmental Physiology*, (84)18-25.

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

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

Mahmoudsoltani, S. (2018). Zinc deficiency, causes, symptoms and solutions. Technical Bulletin. Rice Research Institute of Iran.31p.

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

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

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

Malakooti, M.J., and Kavoosi, M. (2004). Balance nutrition of rice. *SANA publication press.* Tehran, Iran.

Mao, Z. (2001). Water efficient irrigation and environmentally sustainable irrigated rice production in China. International Commission on Irrigation and Drainage.

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

Mayer, J. E., Pfeiffer, W. H., and Beyer, P. (2008). Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. *Current Opinion in Plant Biology*, *11*(2), 166-170.

Nathan, A.S., Gbur, E.E., Jr, C.E., Wilson, J. and Norman, R.J. (2005a). Rice response to granular zinc Sources Varying in Water-Soluble Zinc. *Soil Science Society of American Journal*, 69: 2. 443-452.

Nathan, A.S., Norman, R.J. and Wilson, C.E. (2005b). Effect of zinc source and application time on zinc uptake and grain yield of flood-irrigated rice. *Agron*. J. 97: 272-278.

Palmgren, M. G., Clemens, S., Williams, L. E., Krämer, U., Borg, S., Schjørring, J. K., and Sanders, D. (2008). Zinc biofortification of cereals: problems and solutions. *Trends in Plant Science*, *13*(9), 464-473.

Pfeiffer, W. H., and McClafferty, B. (2007). HarvestPlus: breeding crops for better nutrition. *Crop Science*, *47*(Supplement_3), S-88.

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

Pooniya, V., and Shivay, Y. S. (2011). Effect of green manuring and zinc fertilization on productivity

and nutrient uptake in Basmati rice (*Oryza sativa*)–wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. *Indian journal of Agronomy*, *56*(1), 29-35.

Reddy, D.K., Rarniah, S., and Jeyararnan, S. (2011). Effect of zincated DAP on grain yield and zinc content of rice. *Indian J. Agron*. 32: 193-194.

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

Stomph, T. J., Jiang, W., and Struik, P. C. (2009). Zinc biofortification of cereals: rice differs from wheat and barley. *Trends in Plant Science*, *14*(3), 123-124.

Soil and water research Institute. (2008). The bulletin of soil, water and plant analysis.58 pp.

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

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

White, P. J., and Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets–iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, *182*(1), 49-84.

Wu, C. Y., Lu, L. L., Yang, X. E., Feng, Y., Wei, Y. Y., Hao, H. L., ..., and He, Z. L. (2010). Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities. *Journal of agricultural and food chemistry*, *58*(11), 6767-6773.

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 Journal of Soil and Water Research*. 44(2): 183-192. (In Farsi).

Ye, Y., Liang, X., Chen, Y., Li, L., Ji, Y., and Zhu, C. (2014). Carbon, nitrogen and phosphorus accumulation and partitioning, and C: N: P stoichiometry in late-season rice under different water and nitrogen managements. *PloS one*, *9*(7), e101776.

Yosef Tabar, S. (2012). Effect of nitrogen and phosphorus fertilizer on growth and yield rice (*Oryza sativa* L). *International journal of agronomy and Plant Production*, *3*(12), 579-584.

Zheng, S., Ren, H., Li, W., and Lan, Z. (2012). Scale-dependent effects of grazing on plant C: N: P stoichiometry and linkages to ecosystem functioning in the Inner Mongolia grassland. *PLoS One*, *7*(12).