

## 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 highest 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 ZnSO<sub>4</sub>) one week before flowering and grain filling stages, were recorded to be about 39.06 mgkg<sup>-1</sup> (27.11% more than the control) and 35.37 mgkg<sup>-1</sup> (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 ZnSO<sub>4</sub>) 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.

## تاثیر محلول پاشی روی و فسفر بر پویایی و غنی سازی 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 محلول پاشی 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 مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷ در 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 محلول پاشی با سولفات روی 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 (۲۷/۳۷ درصد افزایش نسبت به شاهد) بود. بالاترین میزان صفت پروتئین آرد برنج در تیمار محلول پاشی با سولفات روی 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 (۳۸/۲۱ درصد افزایش نسبت به شاهد) بود که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. واکنش هر دو رقم نسبت به تیمارها مشابه و محلول پاشی با سولفات روی 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.

واژه‌های کلیدی: محلول پاشی، رقم هاشمی، رقم گیلانه، برنج، روی، فسفر.

### مقدمه

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 اختلالات 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

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از غذاهای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان، به‌ویژه آسیا و آفریقا است که در این مناطق بیش از ۹۰ درصد برنج تولیدی، مصرف 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 (فاو) 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 قرار گرفته‌اند (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

است به مطالعات اصلاحی تکمیلی نیاز باشد. بنابراین تامین فسفر و روی کافی و در زمان مناسب علی‌رغم روش‌های معمول خاکی، توجه به محلول پاشی را نیز در کانون توجه قرار می‌دهد. محلول پاشی 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 به بافت‌های مختلف می‌باشد.

MahmoudSoltani *et al.* (2017) نشان دادند که بیش‌ترین 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). به‌طور کلی، افزایش زیاد در غلظت روی دانه زمانی رخ می‌دهد که عنصر روی به‌صورت محلول پاشی 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). محلول پاشی روی (۵ در هزار سولفات روی) در شروع خوشه‌دهی در افزایش دو برابری غلظت روی دانه موثر بود (Phattarakul *et al.*, 2011). در مقایسه تاثیر محلول پاشی و کاربرد خاکی سولفات روی در خاکی با بافت رسی‌شنی، اسیدیته کمی قلیا، با غلظت روی بیشتر از حد بحرانی و در شرایط غرقابی نتایج نشان داد که افزایش غلظت روی دانه در تیمار محلول پاشی برگی ۵ در هزار سولفات روی 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 محلول پاشی سه مرحله‌ای 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 سولفات روی و محلول پاشی در مرحله پرشدن دانه حاصل شد؛ در حالی که بالاترین میزان پروتئین آرد با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی

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 ضخیم شدن ساقه‌ها، پر حجم 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<sup>۱</sup> 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 در دسترس 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 در خاک، غلظت کل آن‌ها در گیاه و غلظتشان در تک‌تک بافت‌های گیاهان زراعی بستگی دارد (Jiang *et al.*, 2007)؛ Stonmiph *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 نه تنها 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. معمولاً بیش‌ترین میزان غلظت عناصر جذب شده در بافت‌های گیاهی به‌ترتیب در ریشه، ساقه، برگ، خوشه و دانه ذخیره می‌شود (White and Pfeiffer and McClafferty, 2007)؛ 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

الکتریکی (EC) در عصاره اشباع به روش 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 به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم، عناصر میکرو به روش 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 مقدار ۶۰ و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به ترتیب 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 و کلیه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش‌های توصیه شده توسط موسسه تحقیقات برنج کشور در کلیه کرت‌ها به صورت یکسان اعمال شد. فاکتور (عامل)‌های آزمایشی عبارتند از: رقم به عنوان عامل اول در دو سطح، روی به عنوان 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 به همراه 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. به منظور یکسان سازی شرایط رطوبتی در شاهد و سایر تیمارها، در شاهد فقط آب مقطر بر روی گیاه پاشیده شد. در طول اجرای آزمایش و برحسب مراحل گوناگون رشد گیاه برنج مانند حداکثر پنجه زنی، گلدهی، پر شدن دانه و پس از برداشت ده بوته تصادفی گزینش و غلظت روی و فسفر در اندام‌های مختلف مانند برگ، ساقه، خوشه و بخش‌های مختلف دانه بر روش (Campbell and Plank, 1998) و میزان پروتئین دانه بر روش سنجش نیتروژن (SWRI, 2008) اندازه‌گیری گردید. پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرونوف نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. پس از انجام آزمون یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه و تحلیل مرکب

و محلول‌پاشی در مرحله یک‌هفته قبل از گلدهی به دست آمد. کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی 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 سولفات روی و محلول‌پاشی یک‌هفته قبل از مرحله گلدهی و پر شدن دانه، به عنوان راهکاری جهت بهبود کیفیت دانه بسیار موثر بود. (Mahmoudsoltani et al., 2016 and 2017) نشان دادند که کاربرد کود سولفات روی نه تنها بر میزان پروتئین دانه موثر است بلکه بر میزان اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری نیز تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد. اگرچه مصرف روی به صورت 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 پر شدن دانه). علی‌رغم مطالعات بسیار در خصوص تأثیر 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 محلول‌پاشی فسفر و اثر متقابل 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، تأثیر 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 در مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت به صورت 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 (۴×۵) 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 باوذر، ۱۹۸۶)، اسیدیته عصاره اشباع با الکتروود شیشه‌ای (بایت، ۱۹۷۳)، هدایت

دو ساله داده‌ها با نرم افزار SAS انجام گرفت. روابط رگرسیونی با 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	نیترژن کل	کربنات کلسیم معادل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	روی قابل جذب	شن سیلت رس	گنجایش تبادل کاتیونی	بافت خاک
۷/۱۱	۱/۴	۰/۱۳	۵/۷	۱۰	۱۹۸	۲/۶	۱۸	(میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم)	رسی
		درصد		(میلی گرم بر کیلوگرم)		درصد			

## نتایج و بحث

### مرحله پنجه زنی

برهمکنش آن‌ها بر غلظت روی و فسفر ریشه، برگ و ساقه در مرحله پنجه زنی تأثیر معنی داری نداشت (جدول ۲). البته این واکنش به دلیل شروع کاربرد تیمارها از مرحله یک هفته پیش از گلدهی منطقی به نظر می‌رسد (شکل ۱).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای روی، فسفر و رقم و

جدول ۲- تجزیه واریانس غلظت روی و فسفر در اندام‌های ریشه، ساقه و برگ گیاه برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول پاشی فسفر و روی در مرحله حداکثر پنجه زنی

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

<sup>ns</sup>، \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. ZL1، ZS1، ZR1 و ZL1 به ترتیب: غلظت روی در ریشه، ساقه و برگ گیاه برنج در مرحله حداکثر پنجه زنی؛ PR1، PS1 و PL1 به ترتیب: غلظت فسفر در ریشه، ساقه و برگ گیاه برنج در مرحله حداکثر پنجه زنی.



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

Zn0, Zn1, Zn2, P0, P1, P2 به ترتیب عدم استفاده کود روی، 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

در ریشه‌های گیاهی اغلب بالاتر از ساقه‌ها و برگ‌ها بوده و کم‌ترین 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 به ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۵۳ درصد، در ساقه برنج رقم هاشمی و گیلانه به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۳۵ درصد و در ریشه برنج رقم هاشمی و گیلانه به ترتیب 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 به ترتیب 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

میانگین روی در برگ برنج رقم هاشمی و گیلانه به ترتیب حدود ۴۲ و ۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، در ریشه برنج رقم هاشمی و گیلانه به ترتیب حدود ۳۵ و ۳۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و در ساقه برنج رقم هاشمی و گیلانه به ترتیب ۱۷ و ۱۸/۲ 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 به ترتیب 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

الگوی رفتاری به دلایل زیر در گیاه برنج رخ می دهد: ۱- تحرک و جابجایی دوباره این عنصر از ریشه به بخش های هوایی پیش از زمان به خوشه رفتن و در نهایت مرحله خوشه روی، ۲- تغییرات فصلی مربوط به پراکندگی زیست توده در اندام های مختلف (Ye *et al.*, 2013) و ۳- ترکیبی از تغییرات در جذب مواد مغذی گیاهی، فنولوژی برگ و در دسترس بودن مواد مغذی خاک (Zheng *et al.*, 2012).

بررسی روند تکاملی تنوع عملکردی گیاهان حیاتی است (Mao *et al.*, 2001). روند کاهش فسفر در ریشه و روند افزایشی در اندام های نزدیک به خوشه در طول فصل رشد قابل انتظار است. تغییرات در بخش های ساقه و برگ به علت ماهیت انتقال دهندگی آن بین ریشه و خوشه بیش تر دیده می شود و این بخش ها به عنوان عوامل اصلی در بخش بندی فسفر در ابتدای طول دوره رویشی افزایش چشم گیری نسبت به ریشه از خود نشان می دهند. این



شکل ۲- مقدار فسفر (درصد) در اندام های مختلف گیاه برنج ارقام هاشمی و گیلا نه در مرحله پنجه زنی

Zn2, Zn1, Zn0، به ترتیب محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0, P1, P2 به ترتیب محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه

تیمارهای محلول پاشی روی ( $p \leq 0.01$ )، نوع رقم ( $p \leq 0.01$ ) و برهمکنش روی و رقم ( $p \leq 0.05$ ) متأثر گردید، در حالی که غلظت فسفر ساقه تنها تحت تأثیر تیمارهای کاربردی محلول پاشی فسفر، برهمکنش روی و نوع رقم و همچنین برهمکنش روی و فسفر ( $p \leq 0.01$ ) قرار گرفت. غلظت فسفر خوشه در مرحله گلدهی به طور معنی داری از تیمار محلول پاشی فسفر ( $p \leq 0.05$ ) و برهمکنش تیمارهای محلول پاشی فسفر و محلول پاشی روی ( $p \leq 0.01$ ) تأثیر پذیرفت، در حالی که غلظت روی خوشه تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی فسفر ( $p \leq 0.01$ )، محلول پاشی روی ( $p \leq 0.01$ )، نوع رقم ( $p \leq 0.01$ ) و برهمکنش تیمارهای محلول پاشی فسفر و محلول پاشی روی ( $p \leq 0.01$ ) و اثر متقابل روی و رقم فسفر و محلول پاشی روی ( $p \leq 0.01$ ) قرار گرفت.

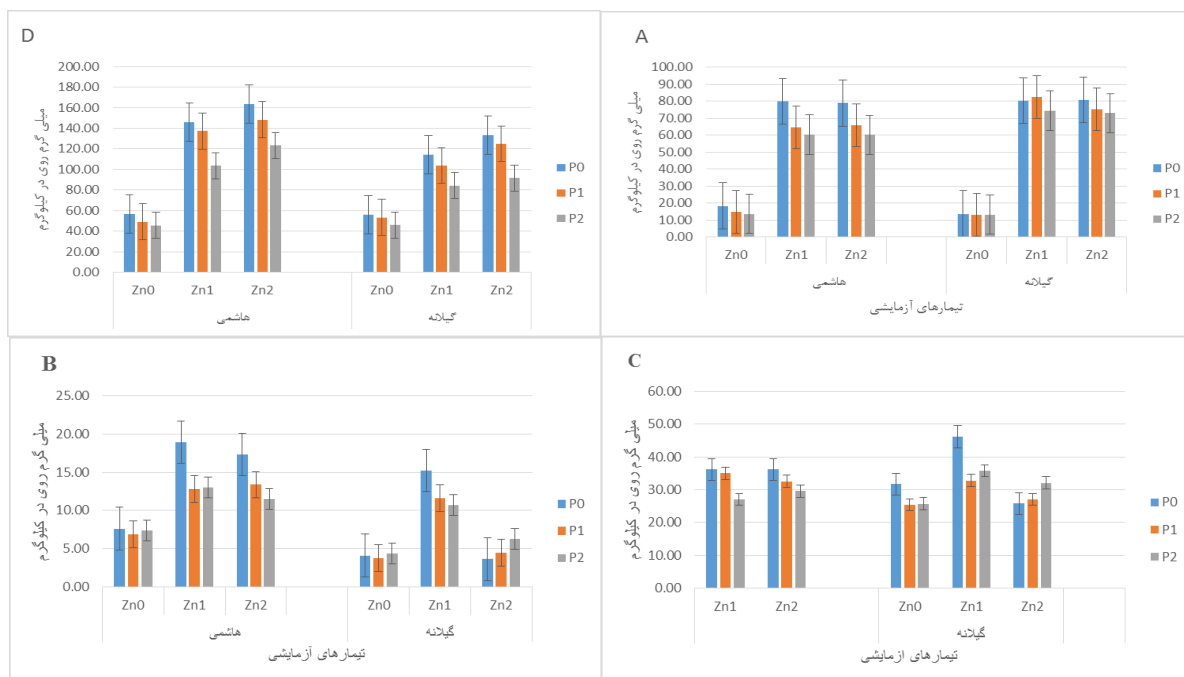
### مرحله گلدهی

نتایج تجزیه واریانس در مرحله گلدهی نشان داد که تیمارهای آزمایشی رقم ( $p \leq 0.01$ )، روی ( $p \leq 0.01$ ) و اثر متقابل روی و رقم ( $p \leq 0.05$ ) بر غلظت روی ریشه و فسفر ریشه و همچنین اثر متقابل فسفر و رقم نیز بر غلظت فسفر ریشه ( $p \leq 0.01$ ) تأثیر معنی دار داشتند (جدول ۳). غلظت روی برگ به طور معنی داری از تیمارهای محلول پاشی فسفر ( $p \leq 0.01$ )، محلول پاشی روی ( $p \leq 0.01$ )، نوع رقم ( $p \leq 0.01$ ) و برهمکنش روی و رقم ( $p \leq 0.01$ ) و فسفر و روی ( $p \leq 0.05$ ) تأثیر پذیرفت، در حالی که غلظت فسفر برگ تنها از محلول پاشی فسفر ( $p \leq 0.01$ ) و فسفر ( $p \leq 0.01$ ) بطور معنی داری متأثر گردید. غلظت روی ساقه به طور معنی داری از

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							
		PL2	PS2	PR2	PP2	ZL2	ZS2	ZR2	ZP2
سال	۱	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>
تکرار(سال)	۴	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۴۶/۹۶ <sup>ns</sup>	۰/۲۴ <sup>ns</sup>	۱۸/۸۰ <sup>ns</sup>	۰/۶۹ <sup>ns</sup>
رقم	۱	۰/۲۱۵ <sup>**</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۷۸۱/۳۹ <sup>**</sup>	۱۹/۹۶ <sup>**</sup>	۶/۶۶ <sup>ns**</sup>	۳۴/۱۰ <sup>**</sup>
فسفر	۲	۰/۰۲۳ <sup>**</sup>	۰/۰۰۴ <sup>**</sup>	۰/۰۰۸ <sup>**</sup>	۰/۰۰۹ <sup>*</sup>	۸۱۸/۶۵ <sup>**</sup>	۰/۷۸ <sup>ns</sup>	۱۲۱/۴۱ <sup>ns</sup>	۱۳/۰۰ <sup>**</sup>
روی	۲	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۶ <sup>*</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۴۱۰۵۵/۵۷ <sup>**</sup>	۱۴/۹۹ <sup>**</sup>	۵۹۲/۰۲ <sup>**</sup>	۶۴/۱۱ <sup>**</sup>
سال×رقم	۱	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۲۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>
سال×فسفر	۲	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۲۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>
فسفر×رقم	۲	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۲۴۶/۸۴ <sup>*</sup>	۰/۳۴ <sup>ns</sup>	۱۳۹/۳۱ <sup>ns</sup>	۳/۶۹ <sup>ns</sup>
سال×فسفر×رقم	۲	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۲۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>
سال×روی	۲	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۲۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>
رقم×روی	۲	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>*</sup>	۰/۰۰۲ <sup>*</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۴۲۶/۵۲ <sup>**</sup>	۴/۳۷ <sup>**</sup>	۲۳۷/۴۱ <sup>*</sup>	۴/۷۴ <sup>ns</sup>
سال×روی×رقم	۴	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۵۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>
فسفر×روی	۴	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴ <sup>**</sup>	۰/۰۰۲ <sup>*</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۱۰۸/۲۷ <sup>ns</sup>	۰/۲۷ <sup>ns</sup>	۱۰۴/۸۳ <sup>ns</sup>	۹/۳۶ <sup>**</sup>
سال×فسفر×روی	۴	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۴ <sup>**</sup>	۱/۵۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۳۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>
فسفر×روی×رقم	۴	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۴۰/۱۲ <sup>ns</sup>	۰/۳۹ <sup>ns</sup>	۱۳۸/۴۰ <sup>ns</sup>	۴/۸۸ <sup>ns</sup>
سال×فسفر×روی×رقم	۴	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۳۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>
اشتباه آزمایشی	۶۸	۰/۰۰۲	۰/۰۸۶	۰/۰۰۰	۰۰/۰۰۲	۶۴/۵۵	۰/۳۸	۵۹/۶۲	۱/۸۲
ضریب تغییرات ( درصد)		۱۶/۹۱	۱۴/۹۷	۱۳/۴۵	۱۳/۳۶	۱۵/۰۱	۲۰/۹۰	۲۴/۷۷	۱۹/۳۲

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

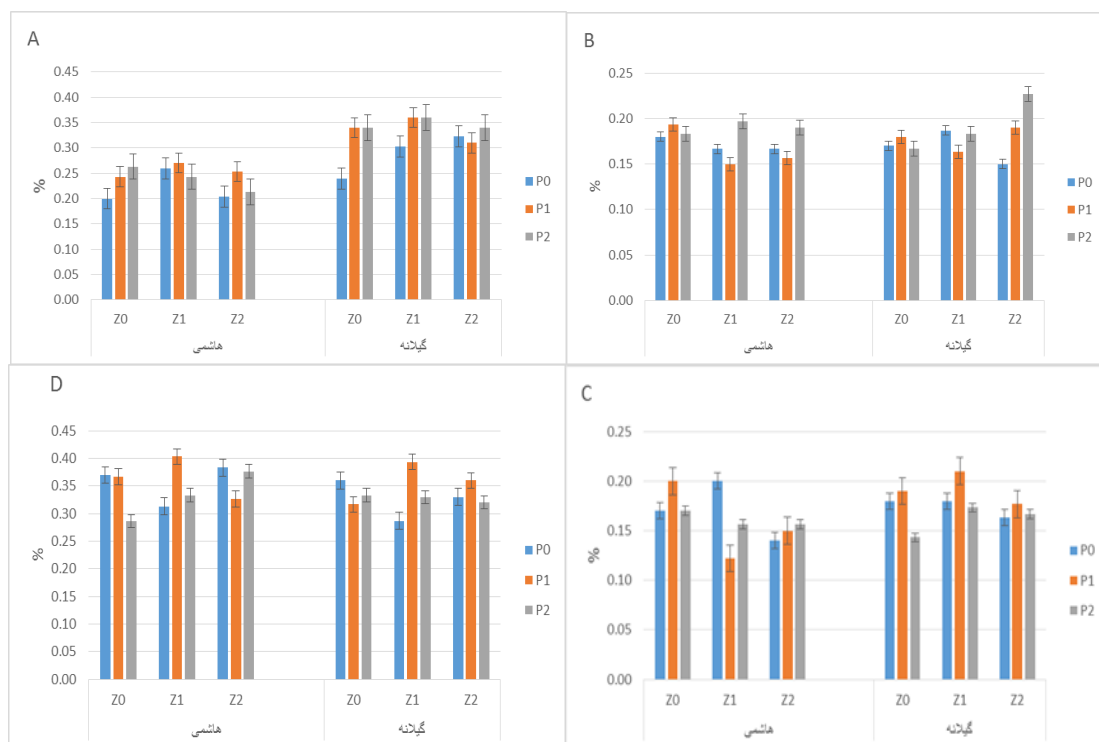


شکل ۳- تغییرات میانگین‌های مقدار روی در اندام‌های برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول‌پاشی روی و فسفر در مرحله گلدهی Zn0, Zn1, Zn2 به ترتیب محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0, P1, P2 به ترتیب 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.



پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به دست آمد که به ترتیب ۳۶ میلی گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۱/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۴۶ میلی گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۱/۴ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۳-۱). بالاترین غلظت روی در خوشه در تیمارهای محلول پاشی با روی و فسفر پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به دست آمد که به ترتیب ۱۲۰/۷ میلی گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (حدود سه برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۱۰۱/۶ میلی گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۲/۸ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۳-۲). به نظر می رسد که افزایش غلظت روی در خوشه به دلیل نیاز شدید گیاه در مرحله شروع خوشه و تشکیل دانه به روی باشد.

در مرحله گلدهی بالاترین غلظت روی در برگ، در تیمارهای محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به دست آمد که به ترتیب حدود ۷۹ میلی گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۴/۳ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۸۱ میلی گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۵/۹ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۳-۲). بالاترین غلظت روی در ساقه در تیمارهای محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به دست آمد که به ترتیب حدود ۱۹ میلی گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۲/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم برای رقم گیلانه (۳/۷ برابر افزایش نسبت به شاهد) و عدم اختلاف معنی دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۳-۳). بالاترین غلظت روی در ریشه در تیمارهای محلول پاشی با سولفات روی



شکل ۴- تغییرات میانگین‌های مقدار فسفر در اندام‌های برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول پاشی روی و فسفر در مرحله گلدهی Z0، Z1 و Z2 به ترتیب محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0، P1 و P2 به ترتیب محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی 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.

با یکدیگر بود (شکل ۴-۱). در مرحله گلدهی بالاترین غلظت فسفر در ساقه همانند برگ در تیمارهای محلول پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به دست 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

در مرحله گلدهی بالاترین غلظت فسفر در برگ در تیمارهای محلول پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به دست آمد که به ترتیب 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 معنی دار آن‌ها

نوع رقم و اثر متقابل فسفر و رقم ( $p \leq 0.05$ ) تاثیر پذیرفت (جدول ۴). غلظت روی برگ به طور معنی داری از تیمارهای محلول پاشی روی و نوع رقم ( $p \leq 0.01$ ) و تیمار محلول پاشی فسفر ( $p \leq 0.05$ ) و برهمکنش روی و رقم ( $p \leq 0.01$ ) تاثیر معنی داری پذیرفته و غلظت فسفر برگ نیز از محلول پاشی فسفر ( $p \leq 0.01$ ) و محلول پاشی روی ( $p \leq 0.01$ ) و نوع رقم ( $p \leq 0.01$ ) و اثر متقابل فسفر و رقم ( $p \leq 0.05$ ) به طور معنی داری متاثر گردید. غلظت روی ساقه به طور معنی داری از تیمارهای محلول پاشی روی و نوع رقم ( $p \leq 0.01$ ) و تیمار محلول پاشی فسفر ( $p \leq 0.05$ ) و برهمکنش روی و رقم ( $p \leq 0.01$ ) تاثیر معنی داری پذیرفته در حالی که غلظت فسفر ساقه تنها تحت تاثیر معنی داری رقم، فسفر و روی ( $p \leq 0.01$ ) و اثر متقابل فسفر و رقم ( $p \leq 0.05$ ) قرار گرفت. غلظت فسفر خوشه در مرحله رسیدن دانه به طور معنی داری از محلول پاشی روی، محلول پاشی فسفر ( $p \leq 0.01$ ) و برهمکنش تیمارهای محلول پاشی روی و رقم ( $p \leq 0.01$ ) تاثیر پذیرفت، در حالی که غلظت روی خوشه تحت تاثیر تیمارهای محلول پاشی فسفر ( $p \leq 0.01$ )، محلول پاشی روی ( $p \leq 0.01$ )، نوع رقم ( $p \leq 0.01$ ) و برهمکنش محلول پاشی فسفر و روی ( $p \leq 0.05$ ) و روی و رقم ( $p \leq 0.01$ ) قرار گرفت.

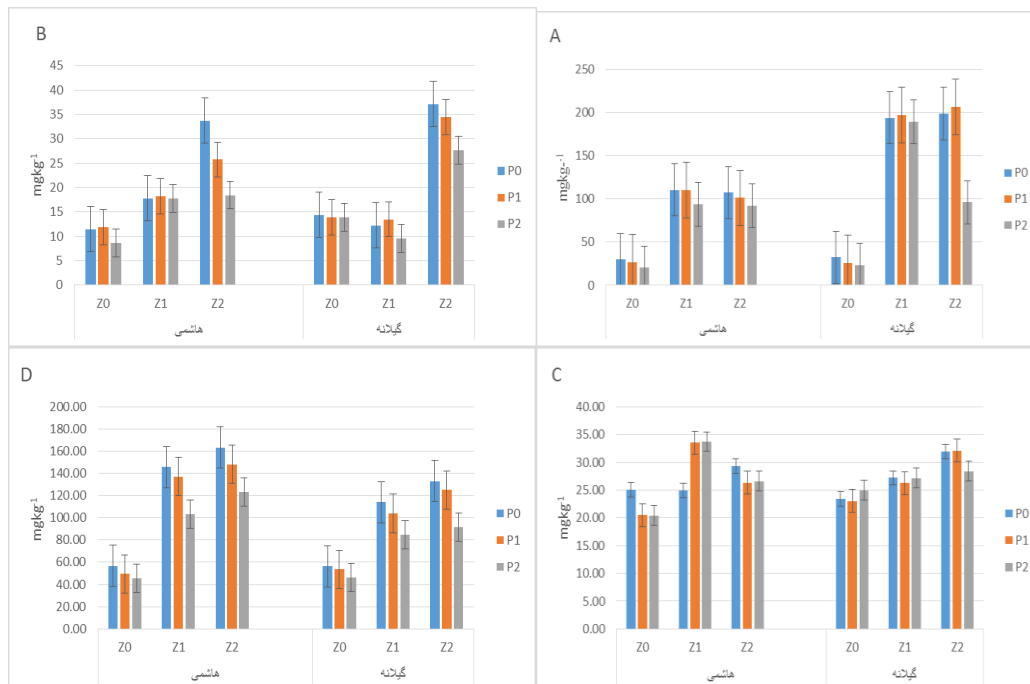
جدول ۴- تجزیه واریانس غلظت روی و فسفر در اندام‌های ریشه، ساقه، برگ و خوشه، شلتوک و دانه سفید برنج: ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول پاشی

فسفر و روی در مرحله رسیدگی

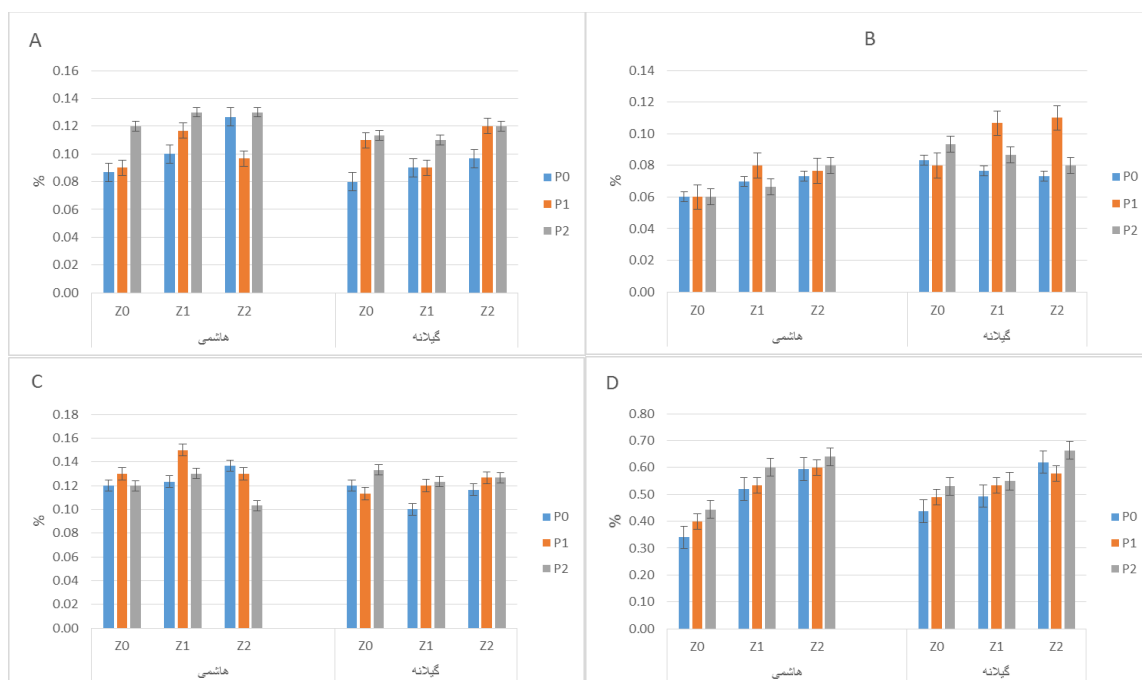
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		Gpro	PP3	PS3	PR3	PL3	PWR	ZL3	ZS3	ZR3	ZP3	ZWR
سال	۱	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۳۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۱ <sup>ns</sup>	
تکرار (سال)	۴	۱/۸۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۵/۲۲ <sup>ns</sup>	۲۵/۵۶ <sup>ns</sup>	۱۸/۰۸ <sup>ns</sup>	۱۲/۹۲ <sup>ns</sup>	۳/۲۵ <sup>ns</sup>	
رقم	۱	۲/۶۰ <sup>**</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>**</sup>	۰/۰۰۲ <sup>*</sup>	۰/۰۰۲ <sup>**</sup>	۱۲۲/۵۶ <sup>**</sup>	۲۸۹/۰۷ <sup>**</sup>	۴/۳۲ <sup>ns</sup>	۹۲۹۷/۰۸ <sup>**</sup>	۱۸۴/۲۱ <sup>**</sup>	
فسفر	۲	۶/۸۰ <sup>**</sup>	۰/۰۵ <sup>**</sup>	۰/۰۰۱ <sup>*</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۷ <sup>**</sup>	۲۱/۵۲ <sup>*</sup>	۴۵/۸۵ <sup>*</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۷۸۹۴/۳۶ <sup>**</sup>	۸/۰۳ <sup>**</sup>	
روی	۲	۲۳/۰۷ <sup>**</sup>	۰/۲۷ <sup>**</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>**</sup>	۴۹۹/۴۳ <sup>**</sup>	۱۸۲۶/۸۷ <sup>**</sup>	۴۳۷/۰۷ <sup>**</sup>	۶۳۶۹۳/۹۸ <sup>**</sup>	۴۲۲/۲۴ <sup>**</sup>	
سال × رقم	۱	۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۹۷ <sup>ns</sup>	۰/۲۵ <sup>ns</sup>	
سال × فسفر	۲	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۶۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	
فسفر × رقم	۲	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>*</sup>	۰/۰۰۱ <sup>*</sup>	۱/۶۱ <sup>ns</sup>	۱۰۱/۶۴ <sup>**</sup>	۴/۳۲ <sup>ns</sup>	۲۹/۷۰ <sup>ns</sup>	۵/۷۶ <sup>**</sup>	
سال × فسفر × رقم	۲	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۲ <sup>ns</sup>	۰/۹۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۹ <sup>ns</sup>	
سال × روی	۲	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۱/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۵ <sup>ns</sup>	
رقم × روی	۲	۰/۲۷ <sup>**</sup>	۰/۰۳ <sup>**</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۳۰/۰۸ <sup>*</sup>	۶۰/۵۲ <sup>*</sup>	۱۲۷/۶۶ <sup>ns</sup>	۲۶۵۴/۳۰ <sup>**</sup>	۲۶/۲۴ <sup>**</sup>	
سال × روی × رقم	۴	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>*</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۸ <sup>ns</sup>	۱/۹۲ <sup>ns</sup>	۰/۱۴ <sup>ns</sup>	
فسفر × روی	۴	۰/۰۰۶ <sup>**</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۳/۳۲ <sup>ns</sup>	۵۲۶/۱۳ <sup>**</sup>	۵۱/۸۰ <sup>ns</sup>	۸۴۵/۷۹ <sup>*</sup>	۸/۲۲ <sup>**</sup>	
سال × فسفر × روی	۴	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۵ <sup>ns</sup>	۴/۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۴ <sup>ns</sup>	
فسفر × روی × رقم	۴	۰/۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۶/۵۴ <sup>ns</sup>	۲۶۸/۸۶ <sup>**</sup>	۶۲/۷۶ <sup>ns</sup>	۱۰۶/۵۶ <sup>ns</sup>	۷/۱۷ <sup>ns</sup>	
سال × فسفر × روی × رقم	۴	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۵ <sup>**</sup>	
اشتباه آزمایشی	۶۸	۰/۳۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۱	۴/۴۱	۱۴/۴۳	۴۵/۰۹	۲۶۷/۲۷	۰/۴۳	
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۸۹	۱۲/۷۵	۲۳/۶۰	۱۶/۴۲ <sup>ns</sup>	۱۵/۵۱	۲/۸۴ <sup>ns</sup>	۲۲/۳۸	۱۹/۰۲	۲۴/۹۱ <sup>ns</sup>	۱۶/۵۱	۲/۰۰

ns، \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. ZWR، ZP3، ZL3، ZS3، ZR3 به ترتیب: غلظت روی در ریشه، ساقه، برگ و خوشه گیاه برنج در مرحله یک هفته قبل از گلدهی؛ PR3، PS3، PL3، PP3 و PWR به ترتیب: 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 محلول پاشی روی و فسفر در مرحله رسیدگی Z0، Z1 و Z2 به ترتیب محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0، P1 و P2 به ترتیب محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی 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.



شکل ۶- تغییرات میانگین مقدار فسفر در اندام‌های برنج ارقام هاشمی و گیلانه در تیمارهای محلول پاشی روی و فسفر در مرحله رسیدگی Z0، Z1 و Z2 به ترتیب محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0، P1 و P2 به ترتیب محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی 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.

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 به همراه 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 محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی در همراهی با محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به دست آمد که به ترتیب 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 در خوشه به دلیل نیاز شدید گیاه در مرحله شروع خوشه و تشکیل دانه به فسفر می‌باشد (Malakooti and Kavooosi, 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 ۲۳۱ و ۲۳۷ گرم در هکتار مربوط به تیمارهای محلول‌پاشی و مصرف حاکی بوده و با عدم مصرف کود، غلظت جذب حدود ۱۷ درصد کاهش یافت. Hussain *et al.* (2012) و Rehman (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 بیش‌ترین افزایش غلظت روی در بالاترین سطح روی مورد استفاده در مقایسه با شاهد به دست 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 به ترتیب ۶۰، ۷۰، ۴۰ و 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

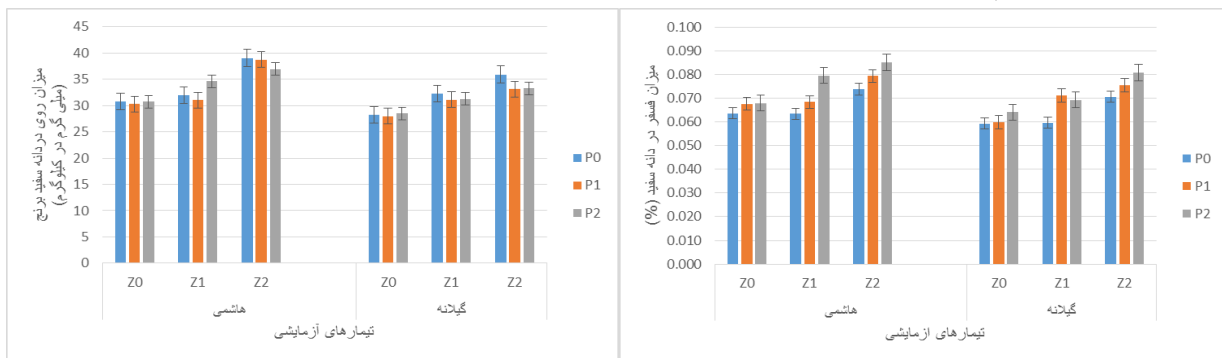
در مرحله رسیدن دانه بالاترین غلظت روی در برگ در تیمارهای محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به همراه محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به دست آمد که به ترتیب شامل ۱۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۳/۷ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۲۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم 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 سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به همراه محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به دست آمد که به ترتیب ۳۳/۷ میلی‌گرم 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 سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به همراه محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به دست آمد که به ترتیب ۳۳/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۱/۳ برابر افزایش نسبت به شاهد) و ۳۲ میلی‌گرم 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 سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به همراه محلول‌پاشی با سولفات روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به دست آمد که به ترتیب 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). غلظت روی در خوشه به دلیل 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 به همراه با محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار در مرحله رسیدگی به دست آمد که به ترتیب 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). در این مرحله بالاترین غلظت فسفر در ساقه همانند برگ در تیمارهای محلول‌پاشی با فسفر و روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی به دست آمد که به ترتیب ۰/۰۸ درصد برای رقم هاشمی (۱/۳ برابر افزایش

(2014). در خاک های لوم شنی در منطقه رودرور در هند، حداکثر غلظت روی در کاه با سه بار محلول پاشی با محلول ۰/۲ درصد سولفات روی در مراحل مختلف کشت گیاه برنج ثبت شد (Reddy *et al.*, 1987). Das *et al.* (2004). گزارش دادند که غلظت روی در کاه برنج به طور معنی داری با محلول پاشی روی پنج در هزار در خاک های لوم سیلتی افزایش یافت. Pooniya and Shivay (2011) گزارش داد که استفاده از محلول پاشی با محلول ۰/۲ درصد سولفات روی به ترتیب در حداکثر پنجه زنی، 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 داده های مربوط به غلظت روی و فسفر در دانه برنج سفید نشان داد که تمام تیمارهای کاربردی در این آزمایش شامل محلول پاشی روی، فسفر و نوع رقم، و برهم کنش آنها بر غلظت روی در دانه برنج سفید ( $p \leq 0.01$ ) تأثیر معنی دار داشت. این در حالی است که غلظت فسفر دانه از هیچ یک از تیمارهای محلول پاشی روی، محلول پاشی 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 محلول پاشی روی و فسفر

Z0, Z1 و Z2 به ترتیب محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه؛ P0, P1 و P2 به ترتیب محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و محلول پاشی با پتاسیم هیدروژن فسفات پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه

به نظر می رسد که افزایش غلظت روی دانه در اثر محلول پاشی ترکیبات روی ناشی از افزایش انتقال مجدد روی از برگ ها در طول دوره پر شدن دانه بوده است. به علاوه بیش تر بودن غلظت روی دانه در تیمارهای سولفات روی می تواند به بالاتر بودن غلظت محلول سولفات روی مرتبط باشد. به اعتقاد پژوهشگران محلول پاشی با ترکیبات روی باعث افزایش انتقال مجدد روی از برگ ها به دانه در طول دوره پر شدن دانه می شود (Rehman *et al.*, 2012). گزارش شده محلول پاشی کود روی در مرحله آبستنی و مرحله گرده افشانی برنج سبب انتقال بیش تر روی از برگ پرچم به دانه، هم در ژنوتیپ های با غلظت روی دانه بالا و هم در ژنوتیپ های با مقدار روی پایین شد (Wu *et al.*, 2010).

توسط گیاهان، روی در همه اندام های گیاه تجمع پیدا کرد که در اندام های رویشی به خصوص در ساقه و غلاف برگ (۲۰-۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) بیش تر از اندام های زایشی (در دانه ۵۰-۲۰ میلی گرم در کیلوگرم) بود (Jiang *et al.*, 2007). گزارش شده است که غلظت روی گیاه برنج در تیمار شاهد برابر ۶۱/۸ میلی گرم در کیلوگرم و با کاربرد سولفات روی به میزان ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برابر ۶۴/۳ و ۶۴/۶ میلی گرم در کیلوگرم افزایش یافت (Nathan *et al.*, 2005 a). نتایج برخی مطالعات نشان می دهد که محلول پاشی سولفات روی 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 سولفات روی در زمان پنجه زنی یا آغاز خوشه دهی در گیاه برنج باعث افزایش غلظت روی در خاک و افزایش این عنصر در گیاه و دانه شد. به طوری 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 برگ ها به دانه در دوره پر شدن دانه همراه بود (Rehman, )

بالاترین میزان صفت غلظت روی در آرد برنج در تیمار محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه به دست آمده است که به ترتیب ۳۹ میلی گرم در کیلوگرم برای رقم هاشمی (۲۷ درصد افزایش نسبت به شاهد) و ۳۵/۳ درصد برای رقم گیلانه (۲۷/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد) که حاکی از اختلاف معنی دار آن ها با یکدیگر بود (شکل ۷ چپ). همچنین نتایج نشان داد که با کاربرد تیمارهای محلول پاشی با کود فسفر غلظت روی در دانه سفید برنج در هر دو رقم کاهش معنی داری می یابد. این کاهش در رقم هاشمی ۱۵ درصد و رقم گیلانه ۱۸ درصد در تیمار محلول پاشی با فسفر پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه است.

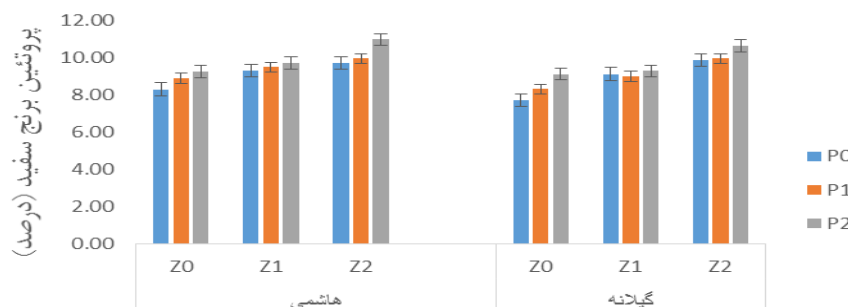
فسفر در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی و ترکیبات انرژی‌زا دخالت دارد. افزون بر آن فسفر جزئی از پروتئین یاخته بوده و به‌عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشای یاخته‌ای و اسیدهای نوکلئیک، نقشی ویژه در رشد گیاهان دارد. اگرچه مطالعه بر روی کاربرد فسفر از طریق محلول‌پاشی بسیار نادر است، اما Abbasian and Aminpanah (2017) 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 ( $p \leq 0.01$ )، بر این صفت اثر معنی‌دار داشت (جدول ۴). بالاترین میزان پروتئین آرد برنج در تیمار محلول‌پاشی 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 (۳۸/۲ درصد افزایش نسبت به شاهد) که حاکی از اختلاف عددی و نه معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۸).

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 تعیین‌کننده 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 ۳۶/۲ درصد افزایش نسبت به شاهد است که حاکی از اختلاف عددی و نه معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر بود (شکل ۷ است).



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

Z0، Z1 و Z2 به ترتیب 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 به ترتیب 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

در ساقه در مرحله رسیدن دانه (\*\*/۴۶) می باشد. همچنین بیشترین ضریب همبستگی خطی بین غلظت روی دانه با غلظت روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه (\*\*/۵۹) و غلظت فسفر در خوشه در مرحله رسیدن دانه (\*\*/۴۸) به دست آمده است. این در حالیست که میزان پروتئین دانه به ترتیب با غلظت روی دانه (\*\*/۸۵)، غلظت فسفر در خوشه در مرحله رسیدن دانه (\*\*/۵۶) و غلظت روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه (\*\*/۴۲) همبستگی مثبت و با غلظت فسفر در مرحله پنجه زنی رابطه منفی (\*\*/۵۰-) داشته است.

$$\text{رابطه شماره ۱} \quad \text{GZn}=45.16+ 0.05 \text{ ZP3}- 25.08 \text{ P11}-17.86 \text{ PL2}-0.03 \text{ ZP2}+ 0.12 \text{ ZS3}$$

$$\text{رابطه شماره ۲} \quad \text{GP}= -1.59+ 0.23 \text{ GZ} + 8.67 \text{ PL3}+ 3.64 \text{ PL2}- 0.03 \text{ ZS3}+2.04 \text{ PR3}+5.44 \text{ PR2}$$

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 ساقه در مرحله پرشدن دانه رابطه معنی داری 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 می نمایند (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 به نظر می رسد این متغیر مناسبترین و در دسترس ترین منبع تغذیه روی برای افزایش روی در دانه و در نهایت برنج سفید می باشد.

نتایج تحقیقات نشان داده است که در شرایط کمبود روی، فعالیت آنزیم RNA پلیمرز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می یابد. در نتیجه سنتز پروتئین با کاهش مواجه می شود. بنابراین در صورت در دسترس بودن روی برای غلات، درصد پروتئین دانه افزایش می یابد (Marshner, 2011). (MahmoudSoltani et al. (2016) نشان دادند که با کاربرد تیمارهای روی میزان پروتئین دانه کامل، سبوس و برنج سفید به ترتیب ۱۲/۳، ۸ و ۲۷ درصد افزایش یافته و غلظت روی برنج سفید به طور معنی داری با میزان پروتئین دانه سفید (\*\*/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 محلول پاشی) به دلیل افزایش جذب روی توسط ریشه و یا اندامهای هوایی (برگ، ساقه و خوشه) بر میزان پروتئین دانه افزوده می شود، 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 فسفر در اندامهای گیاهی در مراحل مختلف رشد برنج

ضریبهای همبستگی خطی بین غلظت روی و فسفر در 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 (\*\*/۷۸) و غلظت روی در ساقه در مرحله رسیدن دانه (\*\*/۵۴) بوده و بیشترین ضریب همبستگی خطی بین غلظت فسفر در مرحله رسیدن دانه با غلظت روی در برگ در مرحله گلدهی (\*\*/۵۲) و غلظت روی

جدول ۵- معادله رگرسیون بین صفات

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

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

GP	GZ	PK3	ZK3	ZS3	PS30	PR3	ZR3	PL3	ZL3	PR2	ZR2	PS2	ZS2	PL2	ZL2	PP2	ZP2	ZS1	PS1	ZR1	PR1	ZI1	PI1
																							۱ PI1
																							۱ ۰/۰۴ ZI1
																							۱ ۰/۰۱ ۰/۱۴ PR1
																							۱ ۰/۰۶ ۰/۰۱ ZR1
																							۱ ۰/۰۷۴ ۰/۱۰ ۰/۲۰ PS1
																							۱ ۰/۱۳ ۰/۲۲۸ ۰/۲۰ ۰/۰۹ ۰/۳۸ <sup>**</sup> ZS1
																							۱ ۰/۰۷۳ ۰/۱۷۳ ۰/۰۱۷ ۰/۰۲ ۰/۰۷ ۰/۰۳ Zk2
																							۱ ۰/۳۱۹ <sup>°</sup> ۰/۱۳ ۰/۰۸ ۰/۲۲۹ ۰/۱۰ ۰/۱۳ ۰/۱۵ PK2
																							۱ ۰/۰۵ ۰/۲۶۵ ۰/۱۰ ۰/۰۱ ۰/۰۵۵ ۰/۱۳ ۰/۰۶ ۰/۰۸ ZL2
																							۱ ۰/۱۹۸ ۰/۱۶ ۰/۱۹۴ ۰/۱۵ ۰/۰۵ ۰/۰۱۶ ۰/۱۵ ۰/۲۱ ۰/۰۶ PL2
																							۱ ۰/۲۴ ۰/۴۴۲ <sup>**</sup> ۰/۱۶ ۰/۳۲۰ <sup>°</sup> ۰/۱۴ ۰/۰۲ ۰/۰۸۲ ۰/۱۰ ۰/۰۶ ۰/۱۱ ZS2
																							۱ ۰/۱۰ ۰/۰ ۰/۰۹ ۰/۰۳۰ <sup>°</sup> ۰/۲۳۱ ۰/۰۶ ۰/۰۵ ۰/۰۰۱ ۰/۲۰ ۰/۰۸ ۰/۰۰ PS2
																							۱ ۰/۰۴ ۰/۱۹ ۰/۰۴ ۰/۳۷۳ <sup>**</sup> ۰/۲۵ ۰/۰۲۶ ۰/۰۲ ۰/۲۴ ۰/۱۷۸ ۰/۰۰ ۰/۱۴ ۰/۰۴ ZR2
																							۱ ۰/۰۷ ۰/۰۸ ۰/۱۷ ۰/۰۴ ۰/۰۶۰ ۰/۱۳ ۰/۳۰۹ <sup>°</sup> ۰/۰۷ ۰/۰۹ ۰/۰۰۹ ۰/۱۲ ۰/۲۴ ۰/۱۶ PR2
																							۱ ۰/۰۱ ۰/۲۳ ۰/۱۲ ۰/۱۸ ۰/۳۰ <sup>°</sup> ۰/۷۶۶ <sup>**</sup> ۰/۰۲ ۰/۲۳۰ ۰/۱۵ ۰/۰۳ ۰/۱۴۶ ۰/۱۵ ۰/۱۱ ۰/۰۴ ZL3
																							۱ ۰/۱۱ ۰/۱۳ ۰/۱۳ ۰/۱۴ ۰/۱۲ ۰/۰۸ ۰/۱۲۳ ۰/۰۲ ۰/۰۴۶ ۰/۱۸ ۰/۰۹ ۰/۱۴۱ ۰/۰۹ ۰/۱۲ ۰/۱۹ PL3
																							۱ ۰/۱۷ ۰/۳۵ <sup>°</sup> ۰/۰۱ ۰/۲۴ ۰/۰۲ ۰/۱۵ ۰/۰۱ ۰/۳۵۷ <sup>**</sup> ۰/۱۵ ۰/۲۹۴ <sup>°</sup> ۰/۰۹ ۰/۲۴ ۰/۰۴۰ ۰/۱۷ ۰/۰۴ ۰/۰۲ ZR3
																							۱ ۰/۰۸ ۰/۳۰ <sup>°</sup> ۰/۰۳ ۰/۱۴ ۰/۱۰ ۰/۰۲ ۰/۱۱ ۰/۰۳ ۰/۰۵۱ ۰/۲۲ ۰/۲۱۰ ۰/۱۱ ۰/۰۳ ۰/۲۸۶ <sup>°</sup> ۰/۰۷ ۰/۰۴ ۰/۰۷ PR3
																							۱ ۰/۱۸ ۰/۱۶ ۰/۰۹ ۰/۵۳ <sup>**</sup> ۰/۰۶ ۰/۰۵ ۰/۰۴ ۰/۱۱ ۰/۳۳ <sup>°</sup> ۰/۲۳۵ ۰/۰۷ ۰/۱۰۵ ۰/۰۱ ۰/۰۴ ۰/۲۱۶ ۰/۰۳ ۰/۳۳ <sup>°</sup> ۰/۰۴ PS3
																							۱ ۰/۲۲ ۰/۱۳ ۰/۲۵ ۰/۰۳ ۰/۵۱ <sup>**</sup> ۰/۱۷ ۰/۰۹ ۰/۰۲۶ ۰/۱۷ ۰/۱۶ ۰/۶۵۲ <sup>**</sup> ۰/۱۶ ۰/۱۲۶ ۰/۰۹ ۰/۱۳ ۰/۰۵۵ ۰/۰۲ ۰/۰۶ ۰/۰۹ ZS3
																							۱ ۰/۵۴ <sup>**</sup> ۰/۱۳ ۰/۱۲ ۰/۲۶ ۰/۱۳ ۰/۵۱ <sup>**</sup> ۰/۲۰ ۰/۳۳ <sup>°</sup> ۰/۲۲ ۰/۴۹ <sup>**</sup> ۰/۰۹ ۰/۷۸۳ <sup>**</sup> ۰/۱۶ ۰/۲۳۱ ۰/۰۱ ۰/۲۰ ۰/۰۶۶ ۰/۰۷ ۰/۲۶ ۰/۰۱ ZK3
																							۱ ۰/۴۶ <sup>**</sup> ۰/۵۲ <sup>**</sup> ۰/۲۱ ۰/۱۱ ۰/۳۵ <sup>**</sup> ۰/۳۸ <sup>**</sup> ۰/۲۶ ۰/۲۷ <sup>°</sup> ۰/۰۶ ۰/۰۹ ۰/۰۸ ۰/۱۵ ۰/۵۲۵ <sup>**</sup> ۰/۰۳ ۰/۰۰ ۰/۱۳ ۰/۱۲ ۰/۰۰۳ ۰/۲۲ ۰/۰۳ ۰/۲۱ PK3
																							۱ ۰/۴۷ <sup>**</sup> ۰/۵۹ <sup>**</sup> ۰/۴۰ <sup>**</sup> ۰/۰۹ ۰/۱۲ ۰/۲۲ ۰/۳۱ <sup>°</sup> ۰/۱۷ ۰/۱۸ ۰/۶۱ ۰/۰۲ ۰/۳۰ <sup>°</sup> ۰/۲۷ <sup>°</sup> ۰/۴۴۲ <sup>**</sup> ۰/۱۱ ۰/۰۵۶ ۰/۲۷ <sup>°</sup> ۰/۱۸ ۰/۱۶۷ ۰/۰۳ ۰/۲۵ ۰/۴۹ <sup>**</sup> GZ
																							۱ ۰/۸۵ <sup>**</sup> ۰/۵۶۹ <sup>**</sup> ۰/۴۲ <sup>**</sup> ۰/۲۵ ۰/۰۲ ۰/۱۳ ۰/۲۲ ۰/۴۷ <sup>**</sup> ۰/۱۴ ۰/۰۵ ۰/۱۱ ۰/۱۵ ۰/۱۵ ۰/۰۳ ۰/۳۸۷ <sup>**</sup> ۰/۰۷ ۰/۰۶۶ ۰/۳۱ <sup>°</sup> ۰/۱۰ ۰/۱۸۵ ۰/۰۰ ۰/۰۹ ۰/۰۵ <sup>**</sup> GP

G, K, R, S, L, Z, P به ترتیب عبارتند از فسفر، روی، برگ، ساقه، ریشه، خوشه و دانه؛ ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مرحله پنجه زنی، گلدهی و رسیدن دانه؛ °، \*، \*\* به ترتیب عبارتند از عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۵٪ و معنی داری در سطح احتمال ۱٪.

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 معنی دار 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 پر شدن دانه، غلظت فسفر ریشه در مراحل گلدهی و پر شدن دانه، غلظت روی در ساقه در مرحله پر شدن دانه رابطه معنی داری با میزان پروتئین دانه داشته و به نظر می‌رسد این شش متغیر بر پایه ضریب تبیین تعدیل شده ۸۴/۲

نتایج مطالعات (MahmoudSoltani et al. (2017), White and Broadley و Pfeiffer and McClafferty (2007) (2009) نشان دادند که روی جذب شده توسط گیاه برنج در مراحل پیش از رسیدن دانه در اندام‌های گوناگون گیاه برنج ذخیره و در مرحله رسیدن دانه به همراه روی جذب شده به دلیل رهاسازی دوباره این عنصر توسط برگ و ساقه به نقاط مورد نیاز مانند خوشه در مرحله گلدهی، و خوشه و دانه در زمان پر شدن دانه منتقل شود. بنابراین انباشت روی در خوشه در زمان رسیدن دانه امری بدیهی بوده و به همین دلیل غلظت روی در دانه از غلظت روی در خوشه در مرحله پر شدن دانه تأثیر بیش تر می‌پذیرد (رابطه ۱). علاوه بر این‌ها ضرائب بزرگ و منفی مقادیر فسفر در برگ مراحل پنجه زنی و گلدهی با غلظت روی دانه حاکی از این نکته است فسفر می‌تواند تأثیر منفی در جذب، نگهداری و انتقال روی در بافت‌های هدف در گیاه برنج داشته باشد که می‌تواند به یکی از دلایل زیر باشد. اولین مورد به رشد قابل توجه گیاه همزمان با مصرف کودهای فسفر باز می‌گردد که باعث کاهش غلظت روی



محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه حاصل شد. اگرچه محلول پاشی 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 محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار (یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه) به دست آمد که تفاوت معنی داری 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 (محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار؛ یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه) به بیشینه خود رسید. نتیجه گیری کلی این آزمایش نشان می دهد که تیمارهای فسفر و روی بر بسیاری از صفات کمی و کیفی اندازه گیری شده ارقام برنج مؤثر بودند و در بین این تیمارها محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار (یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه) برترین تیمار برای صفات کیفی هر دو رقم برنج هاشمی و گیلاانه بود. نتایج همچنین بر این نکته تاکید دارد که غلظت روی در دانه مهم ترین عامل افزایش میزان پروتئین در دانه می باشد و پس از آن غلظت روی و فسفر در خوشه و ساقه در مرحله رسیدگی در ارتقای کیفیت دانه تاثیر به سزایی دارد. برای دست یابی به نتایج دقیق تر پیشنهاد می شود اثر محلول پاشی عناصر روی و فسفر (با غلظت های مورد استفاده در پژوهش حاضر) بر فتوسنتز و پارامترهای وابسته به شاخص های فتوسنتزی در گیاه برنج، جذب سایر عناصر غذایی (مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و غلظت اسید فیتیک دانه ارقام برنج هاشمی و گیلاانه نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

### سپاس گذاری

از موسسه تحقیقات برنج کشور برای فراهم نمودن امکانات و آزمایشگاه شیمی بخش تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور برای کمک های فنی سپاس گذاری می شود.

"هیچ گونه 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.

درصد از تغییرات میزان پروتئین در برنج سفید را تشریح می نمایند (جدول ۵). در میان این متغیرها غلظت روی در دانه بیش ترین سهم را در تغییرات مقدار پروتئین در برنج سفید در این مدل داشته و به نظر می رسد این متغیر مناسب ترین و در دسترس ترین منبع تغذیه روی برای افزایش پروتئین در دانه و نهایتا برنج سفید می باشد. نتایج تحقیقات نشان داده است که در شرایط کمبود روی، فعالیت آنزیم RNA پلیمرز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می یابد. در نتیجه سنتز پروتئین با کاهش مواجه می شود. بنابراین در صورت در دسترس بودن روی برای غلات، درصد پروتئین دانه افزایش می یابد (Marshner, 2011). MahmoudSoltani et al. (2016) نشان دادند که با کاربرد تیمارهای روی میزان پروتئین دانه کامل، سبوس و برنج سفید به ترتیب ۱۲/۳، ۸ و ۲۷ درصد افزایش یافته و غلظت روی برنج سفید به طور معنی داری 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 محلول پاشی) به دلیل افزایش جذب روی توسط ریشه و یا اندام های هوایی (برگ، ساقه و خوشه) بر میزان پروتئین دانه افزوده می شود، چرا که عنصر روی یک عنصر مهم و ضروری هم از نظر ساختار پروتئین و هم از نظر فعال سازی آنزیم های مؤثر بر تولید پروتئین هستند.

### نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف محلول پاشی با سولفات روی پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه و محلول پاشی با فسفر پنج در هزار یک هفته قبل از گلدهی و در مرحله رسیدگی دانه و نوع رقم برنج به تنهایی یا در کنار یکدیگر بر روی غلظت روی برگ، ساقه و ریشه در مرحله خوشه دهی، غلظت روی برگ، ساقه، ریشه و خوشه در مرحله گلدهی و رسیدگی و نیز غلظت روی و میزان پروتئین آرد تاثیر معنی دار دارند. در بیش تر موارد بالاترین میزان صفات ذکر شده در تیمار

- 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 <sup>65</sup>Zn 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., Afiumi, 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 Kavooosi, 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).