تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۷، مهر ۱۴۰۰ (ص ۱۹۰۱-۱۸۸۱)
DOI: 10.22059/ijswr.2021.324167.668979
(علمی – پژوهشی)

Screening Rice Varities for Higher Zn Efficiency in Paddy Field

SHAHRAM MAHMOUD SOLTANI[1*], MEHRZAD ALLAGHOLIPOUR[1]
1. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
(Received: May. 20, 2021- Revised: June. 20, 2021- Accepted: June. 27, 2021)

ABSTRACT

To counteract the widespread negative effects of zinc deficiency on rice yield and the health of the majority of people who depend on this crop for nutrition, it will be necessary and effective to find cultivars resistant to zinc deficiency. For this purpose, field experiments during the crop years of 1396 and 1397 in farm located in the village of Pas-visheh, Rasht city, Gilan province, A two factors split plot experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. Experimental factors include soil application of zinc sulfate fertilizer as the main plot in two levels (0 and 20 kg ha^{-1} zinc sulfate) and cultivar as a sub-plot in 27 levels (including local and improved cultivars and promising lines). The results showed that the Zn application and its interaction with cultivar waere significant for all measured traits except the length and width of the flag leaf. The lowest and highest values of zinc uptake in plant organs in the treatment of non-application of zinc sulfate belonged to line RI18430-2 (Hashemi × Saleh) and Kadous cultivar, respectively. Comparison of the mean of treatments showed that the lowest and highest zinc uptake in plant organs in the treatment of zinc sulfate application belonged to two lines RI18432-2 (Mohammadi × Saleh) and RI18431-1 (Abji Boji × Saleh), respectively and three cultivars or lines that have the highest zinc uptake in plant organs in the application of 20 kg / ha of zinc sulfate are RI18432-2 (Mohammadi × Saleh) and RI18430-22 (Hashemi × Saleh) and Ahlemi-Tarom cultivar, respectively. The results of the GGbiPlot analysis showed that in both levels of zinc (control and application of 20 kg per hectare of zinc sulfate) Gohar, Kadous and Caspian cultivars have been ranked 1 to 3 in terms of Zn efficiency. Saleh, Dilmani, Gilaneh and RI18430-1 (Hashemi × Saleh) cultivars were also ranked as high Zn efficient cultivars and line in both levels. Therefore, for future research works, these cultivars are suitable for cultivattion on Zn deficiency paddy soils or selection of higher Zn uptake cultivar(s) for rice grain quality purpose.

Keywords: Biplot, Grain Yield, Improved Rice Varieties, Local Rice Varieties.

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

غربالگری ارقام برنج بر اساس توانایی جذب روی در اراضی شالیزاری

شهرام محمودسلطانی[1*] و مهرزاد اله‌قلی‌پور[1]

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۳۰- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۳/۳۰- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۴/۶)

چکیده

برای مقابله با اثرات منفی گسترده کمبود روی بر عملکرد برنج و تندرستی بخش عمده مردمی که برای تغذیه به این محصول وابسته می‌باشند، یافتن ارقام مقاوم به کمبود روی بسیار ضروری و موثر خواهد بود. بدین منظور آزمایش مزرعه‌ای طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه‌ای واقع در روستای پس‌ویشه شهرستان رشت استان گیلان به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کودپاشی پایه (کاربرد خاکی) کود سولفات روی به عنوان کرت اصلی در دو سطح (۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی) و رقم به عنوان کرت فرعی در ۲۷ سطح (شامل ارقام محلی و اصلاح شده و لاین‌های امید بخش) بودند. نتایج نشان داد که افزودن روی به خاک بر بسیاری از صفات اندازه‌گیری شده و اثر متقابل رقم × میزان روی موجود در خاک نیز برای همه صفات به استثنای طول و عرض برگ پرچم معنی‌دار بود. پایین‌ترین و بالاترین مقدار جذب روی در اندام‌های گیاهی در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین RI18430-2 (هاشمی × صالح) و رقم کادوس تعلق داشت. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین جذب روی در اندام‌های گیاهی در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به دو لاین RI18432-2 (محمدی × صالح) و RI18431-1 (آبجی‌بوجی × صالح) تعلق داشته و سه رقم یا لاینی که به ترتیب بالاترین جذب روی در اندام‌های گیاهی را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از لاین‌هایRI18432-2 (محمدی × صالح) و RI18430-22 (هاشمی × صالح) و رقم اهلمی‌طارم بودند. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون مکانی (GGE Biplot) نشان داد که در هر دو سطح روی (عدم مصرف و کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی) ارقام گوهر، کادوس و خزر از نظر میزان جذب روی رتبه‌های ۱ تا ۳ را کسب نمودند. ارقام صالح، دیلمانی، گیلانه و لاین RI18430-1 (هاشمی × صالح) نیز در هر دو سطح روی از رتبه‌های بالا برخوردار بودند. بنابراین برای آزمایش‌های آینده می‌توان از این ارقام به‌عنوان ارقام یا لاین‌های مناسب برای رشد در شرایط کمبود روی بهره جست.

واژه‌های کلیدی: ارقام اصلاح شده، ارقام محلی، بای‌پلات، عملکرد دانه.

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) نه تنها یکی مهم‌ترین محصول کشاورزی، بلکه غذای اصلی وتامین کننده ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین بیش از نیمی از جمعیت جهان است (Depare, 2011).

پس از نیتروژن، فسفر و پتاسیم، روی مهم‌ترین عنصر مورد نیاز گیاه برنج می‌باشد که اثرات ناشی از کمبود آنها گسترده‌ترین و جدی‌ترین بی‌نظمی‌های تغذیه‌ای را در اراضی شالیزاری جهان ایجاد کرده و یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد در گیاه برنج است. عنصر روی در تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه و مکانیزم‌های سوخت و ساز آن از جمله فعال‌سازی ۳۰۰ آنزیم، سنتز پروتئین‌ها، متابولیسم‌های درگیر در تولید کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم لقاح (افزایش کارآیی اندام نر و ماده در گیاه) دخالت دارد (Mahmoudsolani *et al*., 2016).

اگرچه عنصر روی از طریق ریشه، ساقه و برگ به راحتی توسط گیاه جذب شده و می‌تواند کمبود آنرا جبران نماید ولی کاربرد خاکی این عنصر در شالیزارهای دارای کمبود، یک راهبرد کلی برای مقابله با کمبود آن بوده و علاوه بر افزایش عملکرد دانه به افزایش غلظت‌روی در دانه نیز می‌انجامد (Mahmoudsolani *et al*., 2017, 2018, 2019 and 2020). اما این رویکرد همیشه ازدیدگاه اقتصادی مطلوب نبوده و ممکن است به مطالعات اصلاحی تکمیلی نیاز باشد. افزایش روز افزون قیمت کودهای حاوی روی و هزینه‌های اعمال روش‌های گوناگون مصرف آن (Mahmoudsoltani *et al*., 2020)، عدم تعادل در مصرف کودهای پرمصرف و تاثیر آن بر جذب عنصر روی (Rehman *et al*., 2012)، برهمکنش منفی این عنصر با سایر عناصر مانند فسفر (Mahmoudsoltani *et al*., 2016, 2017, 2020) و مصرف کود بدون توجه به حدود آستانه و مصرف بی‌رویه آن باعث ایجاد اثرات

* نویسنده مسئول: shmsoltani@gmail.com

زیست محیطی شده و به همین دلایل پژوهش‌ها را به سمت شناخت ژنوتیپ های متحمل به کمبود روی (Impa *et al*., 2013) و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی و یا به عنوان ارقام جایگزین در مزارع کشاورزان می‌تواند بسیاری از مشکلات را کاهش دهد (Mahmoudsoltani *et al*., 2018).

در گیاه برنج نیز همانند سایر محصولات کشاورزی تفاوت‌های ژنوتیپی قابل‌توجه‌ای از نظر تحمل به کمبود عنصر روی قابل جذب خاک وجود دارد و در این راستا ارقام متحمل به کمبود روی و یا دارای کارایی بالاتر در جذب روی نیز توسط بسیاری از محققین معرفی شده است (Swamy *et al*., 2016; Yin *et al*., 2016). کارایی بالاتر در جذب روی و یا به طور عمومی کارآیی یک ژنوتیپ نسبت به یک عنصر که معمولا معادل متحمل به کمبود آن عنصر نیز تعریف می‌شود منعکس‌کننده توانایی یک گیاه در رشد مناسب و تولید محصول قابل قبول در شرایط کمبود آن عنصر است (Impa *et al*., 2013).

شواهد نشان می‌دهند که مدیریت زراعی مانند افزایش کودهای روی و یا حاوی روی، بهبود روش‌های آبیاری و تغییر فاکتورهای خاکی موثر بر مقدار روی قابل جذب در خاک‌های با کمبود روی، هنوز روشی سریع برای مقابله با کمبود آن است (Cakmak, 2008). اگرچه این روش‌ها نتایج درخشانی را در پی دارد ولی روش‌های ژنتیکی و اصلاحی علی‌رغم مشکلاتی که در مسیر انجام آن است (محیط مناسب رشد، تنوع ژنتیکی محدود گیاه برنج و قوانین دست و پا گیر در زمینه مصرف گیاهان تغییر ژنتیکی داده شده) به همراه سایر روش‌های اصلاحی می‌تواند گام های موثری در رفع این مشکلات برداشته و به تولید گیاهانی با کارآیی بهتر و جذب بیشتر روی حتی در خاک‌های باکمبودروی بیانجامد (Bouis and Welch, 2010). نتایج غربالگری ارقام برنج در هند برای یافتن ارقام با راندمان جذب روی و غنی‌سازی زیستی بهتر (۲۶ رقم رایج) طی یک آزمایش مزرعه‌ای و در دو نوع تیمار کودی، شاهد یا میزان کم روی ذاتی خاک و کاربرد کود روی در حد کفایت نشان داد که ارقام آروماتیک نسبت به ارقام محلی‌غیرمعطر، پرمحصول و هیبرید روی بیشتری را جذب می کنند. همچنین ترتیب راندمان جذب روی هم در این آزمایش به ترتیب مربوط به ارقام آروماتیک و سپس پرمحصول، هیبرید و ارقام محلی غیرمعطر بود. ضریب انتقال روی در ارقام برنج احتمالا به فعالیت‌های فیزیولوژیکی شان ارتباط دارد و ممکن است به انتقال روی از ساقه به دانه در ارقام پرمحصول و معطر مربوط باشد البته افزایش راندمان روی در ارقام معطر ممکن است به مکانیزم تطبیقی آن در تحمل تنش کمبود روی ربط داشته باشد (Hazra *et al*., 2015).

علی‌رغم مطالعات کم در این زمینه برای محصول برنج، مرکز تحقیقات برنج بنگلادش اخیراً با تلاقی دو والد متفاوت، برنجی با قابلیت غنی‌سازی روی (BRRI-62) را به بازار عرضه کرد. این رقم و ارقام کارآمد نسبت به جذب روی نیز به همان اندازه مهم هستند که نیازی به استفاده از هیچ یک از کودهای روی ندارند (Naher *et al*., 2014). Naher *et al*. (2014) در غربالگری ارقام برای کارآمدی برنج در جذب روی و رشد و نمو طبیعی در شرایط کمبود آن تعدادی از برنج‌های بنگلادشی (Pokkali، BRRI 62، BRRI 3، BRRI 39، BRRI 29، BRRI 51، Parizat، BRRI 33 و BRRI 28) را بر اساس شاخص‌های مختلف ریخت شناسی (مورفولوژیکی) و فیزیولوژیکی از طریق کشت هیدروپونیک مورد بررسی قرار داده و نتیجه‌گیری نمودند تحمل به کمبود روی در این ژنوتیپ‌های برنج را می‌توان در سه گروه تحمل‌پذیر (Pokkali، BRRI 62، BRRI 3، BRRI 39، BRRI 29، BRRI 51) ، متوسط (BRRI 33) و بسیار حساس (Parizat و BRRI 28) طبقه‌بندی نمود.

داده‌های بانک اطلاعات خاک بخش تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور نشان می‌دهد که از بین نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه شیمی این موسسه (کمتر از ۵ درصد اراضی شالیزاری استان گیلان) روی قابل جذب در خاک بیش از ۶۰۰ مزرعه کمتر از حد بحرانی (۲ میلی‌گرم بر گیلوگرم خاک) (Dobermann and Fairhourst, 2000) بوده و خاک دویست مزرعه نیز با روی قابل جذب کمتر از ۰/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شرایط کمبود بسیار شدید قرار دارد (Mahmoudsoltani, 2018). این موضوع توجه جدی به موضوع عنصر کم‌مصرف روی در اراضی شالیزاری را نشان می‌دهد. اگرچه تقریبا تمامی بیش از ۵۰ رقم محلی و اصلاح شده و وارداتی برای بسیاری از مشکلات ژنتیکی و محیطی مانند کمیت و کیفیت محصول، مقاومت به آفات و بیماری‌ها، طول دوره رسیدن و غیره مورد بررسی قرار گرفته‌اند ولی تحمل آنها به کمبود مهم‌ترین عنصر کم مصرف اطلاعات چندانی در دست نبوده و یا بسیار اندک است.

با توجه به مطالب ذکر شده، برای مقابله با اثرات منفی گسترده کمبود روی بر عملکرد برنج و تندرستی بخش عمده مردمی که برای تغذیه به این محصول وابسته می‌باشند، اجرای پروژه‌هایی پژوهشی بر مبنای بهبود کمی (افزایش عملکرد) و تغذیه‌ای برنج (افزایش میزان روی و در نتیجه پروتئین در دانه) در اراضی شالیزاری براساس یافتن ارقام مقاوم به کمبود روی یا ارقامی که در شرایط کمبود، کارایی جذب بیشتر روی را از خود نشان دهند، بسیار ضروری و موثر خواهد بود. بنابراین آزمایش حاضر به منظور بررسی واکنش ۲۷ لاین و رقم نسبت به شرایط

کمبود و مقدار مناسب روی و با اهداف مقایسه عملکرد ارقام محلی و اصلاح‌شده و لاین‌های امیدبخش در شرایط کمبود و در حد کفایت روی، غربال‌گری ارقام برنج و طبقه‌بندی آنها بر اساس توانایی جذب بیشتر روی موجود در خاک، انتخاب والدین مناسب جهت تلاقی‌های لازم و یافتن ارقام با توانایی بهتر برای ارتقای روی دانه تدوین و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و۱۳۹۷ در مزرعه‌ای واقع در روستای پس‌ویشه شهرستان رشت اجرا شد. در این آزمایش تعداد ۲۷ رقم از ارقام موجود در کلکسیون موسسه تحقیقات برنج کشور (جدول ۲) در یکی از نقاط با کمبود روی (مقدار روی کمتر از ۲ میلی‌گرم بر کیلو گرم خاک) که طی آزمایشات خاک از بین مزارع با کمبود روی و بر اساس بانک اطلاعات آزمایشگاه بخش خاک و آب انتخاب شده بود، مورد بررسی و غربال‌گری قرار گرفتند. از نقاط گزینش شده نمونه‌های مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد. نمونه‌های خاک هوا خشک شده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی از ویژگی‌های موثر بر رشد و توسعه گیاه برنج (Sys etal., 1993) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). این آزمایش به صورت کرت‌های خرده شده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای کاربردی عبارتند از ۰ (شاهد) و ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار، به صورت سولفات روی۲۲٪ . فسفر به مقدار ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) از منبع سوپرفسفات‌تریپل (حاوی ۴۶ درصد P_2O_5) و پتاسیم نیز به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم (K_2O)در هکتار از منبع سولفات پتاسیم (حاوی ۵۰ درصد (K_2O) پیش از نشاکاری به کلیه کرت‌ها اضافه شد. کود نیتروژن به مقدار۶۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) در سه مرحله پیش از نشاکاری، وجین و تشکیل جوانه اولیه خوشه به کرت‌ها افزوده شد. گیاهچه‌های (نشاها) یکدست ارقام به فواصل ۲۰ ×۲۰ سانتی‌متر و به‌صورت سه گیاهچه در هر کپه کشت و کلیه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش‌های توصیه شده توسط مؤسسه تحقیقات برنج کشور در کلیه کرت‌ها به صورت یکسان اعمال شد. هر رقم در کرت‌هایی به مساحت ۴ مترمربع کشت شد. در هنگام برداشت خصوصیات مورفولوژیکی مانند ارتفاع بوته (فاصله بین سطح خاک تا انتهای خوشه اصلی بدون احتساب ریشک در شاخه‌های اصلی، پنج بوته در هر واحد آزمایشی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه به‌طور تصادفی با استفاده از خط کش، بر حسب واحد سانتی‌متر اندازه‌گیری شدند)، طول و عرض برگ پرچم (از هر واحد آزمایشی پنج بوته در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به‌طور تصادفی انتخاب و با استفاده از خط‌کش بر حسب واحد سانتی‌متر طول و عرض برگ پرچم آنها اندازه‌گیری شد)، تعداد پنجه کل و بارور (برای تعیین این صفات در زمان رسیدگی فیزیولوژیک پنج بوته را از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد پنجه‌های کل و موثر (پنجه‌هایی که در عملکرد نهائی تاثیر دارند) شمارش و میانگین تعداد پنجه‌های موثر محاسبه شد)، درصد باروری پنجه (براساس تقسیم تعداد پنجه بارور به پنجه کل محاسبه و برحسب درصد بیان می شود)، طول خوشه (در مرحله رسیدگی دانه پیش از برداشت، فاصله بین گره گردن خوشه تا نوک بالاترین دانه روی خوشه بدون در نظر گرفتن ریشک در خوشه‌های مربوط به ساقه اصلی در پنج خوشه اندازه-گیری شد و میانگین آنها برای تجزیه آماری استفاده شد)، تعداد خوشه (عدد)، وزن هزار دانه (گرم با رطوبت ۱۳ درصد- برای تعیین وزن هزاردانه، قبل از برداشت محصول در زمان رسیدگی کامل از هر کرت ۱۰ خوشه به‌طور تصادفی انتخاب و از بین دانه‌های سالم صفات موردنظر اندازه‌گیری شد)، تعداد دانه پر و پوک (تعداد دانه‌های پر و پوک قبل از برداشت محصول در زمان رسیدگی کامل از هر کرت ۱۰ خوشه به‌طور تصادفی انتخاب و صفات موردنظر اندازه‌گیری شد)، درصد فراوانی دانه در خوشه (درصد باروری خوشه)(براساس تعداد دانه پر در طول خوشه محاسبه شده و برحسب درصد بیان می گردد)، عملکرد دانه و کاه (تن در هکتار با رطوبت ۱۴ درصد- پس از رسیدن محصول برای تعیین عملکرد دانه و کاه بعد از جداسازی و با حذف حاشیه یک مترمربع از وسط هر کرت برداشت، خرمن‌کوبی و سپس بوجاری شد و در نهایت با رطوبت ۱۴ درصد مقدار دانه وکاه بطور جداگانه توزین و محاسبه گردید)، عملکرد زیست توده (برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک از هر پلات به مساحت یک مترمربع بوته‌ها کف‌بُر شده و پس از جدا کردن دانه از اندام هوایی، کاه در آون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و پس از آن توزین عملکرد بیولوژیک از مجموع عملکرد دانه و عملکرد کاه محاسبه گردید) و شاخص برداشت (شاخص برداشت برنج از تقسیم عملکرد دانه (شلتوک) به زیست توده به دست می‌آید و برحسب درصد گزارش می شود) اندازه‌گیری شدند. میزان روی در تمام اندام‌های گیاه اندازه‌گیری شد (برای این منظور از روش خاکستر خشک استفاده گردید (cavell, 1955). یک گرم از نمونه گیاه توزین و به کروزه چینی منتقل گردید. کروزه‌ها درون کوره به مدت شش ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد سوزانده شدند. سپس به هر کوزه ۱۰ میلی لیتر اسید هیدروکلریدریک افزوده شد و تا رویت بخار سفید روی آنها در

دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد روی هات پلیت حرارت داده شد. سپس محلول درون هر کروزه به بالن ۵۰ میلی لیتری منتقل شد و با آب مقطر به حجم رسانده شد. برای محاسبه روی در گیاه از دستگاه جذب اتمی استفاده شد. عصاره‌های حاصل از هضم گیاه مستقیما برای اندازه‌گیری روی از شعله استیلن- هوا استفاده شد. دستگاه با استانداردهای ۱ و ۲ و ۳ میلی‌گرم بر لیتر روی کالیبره شد. نمونه‌ها به دستگاه داده شد و غلظت روی مستقیما قرائت گردید) (Amacher, 1996). در این آزمایش برای سنجش خصوصیات یاد شده برای هر رقم ۱۰ بوته به طور تصادفی گزینش و مورد ارزیابی قرار گرفت (SES, 2002). پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌ها، ابتدا از آزمون کولموگروف -اسمیرنوف برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. در ضمن آزمون همگنی خطاهای آزمایشی به وسیله آزمون بارتلت برای صفات اندازه‌گیری شده انجام شد. برای غربال‌گری ارقام از تجزیه GGE Biplot ژنوتیپ × صفت استفاده شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش توکی انجام شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای GGE Biplot ver 3.4 و SAS ver 9.1 صورت پذیرفت.

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

عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	N (درصد)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	pH	EC (ds/m)
۰-۳۰	سیلتی رسی	۲۰	۱۷	۲۹۰	۰/۸۸	۷/۰	۰/۶

جدول ۲- ویژگی‌های ژنوتیپ‌های برنج‌های مورد ارزیابی

ردیف	نام لاین یا رقم	والد پدری	والد مادری	منشاء
۱	گیلار	هاشمی	صالح	ایران
۲	سپیدرود	IR8× (گرم‌صدری × IR28)		ایران
۳	RI18437-2	سالاری	صالح	ایران
۴	RI18437-1	سالاری	صالح	ایران
۵	I18430-2	هاشمی	صالح	ایران
۶	RI18436-1	حسن‌سرایی	صالح	ایران
۷	RI8443-5	اهلمی‌طارم	سپیدرود	ایران
۸	RI18430-22	هاشمی	صالح	ایران
۹	۱۸۴۳۱-۱	هاشمی	سپیدرود	ایران
۱۰	گوهر	pusa 1238-81-6× pusa1238-1		ایران
۱۱	حسنی	رقم محلی		ایران
۱۲	دیلمانی	رقم محلی		ایران
۱۳	کیان	موتانت طارم‌محلی		ایران
۱۴	رش	Basmati370×IR66673-44		ایران
۱۵	کادوس	IR64669-153-2-3		ایران
۱۶	آنام	هاشمی	صالح	ایران
۱۷	هاشمی	رقم محلی		ایران
۱۸	صالح	× خزر IR 39385-20-1-2-1-2		ایران
۱۹	طاهر	موتانت هاشمی		ایران
۲۰	درفک	سالاری	سپیدرود	ایران
۲۱	گیلانه	آبجی بوجی	آبجی‌بوجی × صالح	ایران
۲۲	SA1	هاشمی	صالح	ایران
۲۳	اهلمی‌طارم	رقم محلی		ایران
۲۴	خزر	TNAU7456	IR2071-625-152	ایران
۲۵	BC25	سپیدرود × حسنی	سپیدرود	ایران
۲۶	لاین ۲۳	IR23199-3-3-1		ایران
۲۷	آبجی بوجی	رقم محلی		ایران

تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ × صفت

مدل مورد استفاده برای تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ × صفت عبارت از تجزیه به مولفه¬های اصلی تصحیح شده بر اساس میانگین صفت و استاندارد شده توسط انحراف استاندارد بود:

$$\hat{Y}_{ij} - \mu - \beta_j / d_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن $\hat{Y}_{ij}$ مقدار مورد انتظار برای ژنوتیپ i در ترکیب

با صفت j ، μ میانگین کل تمام ترکیب‌های ژنوتیپ × صفت؛ β_j اثر اصلی صفت j ؛ g_{i1} و e_{1j} به ترتیب اثرهای اولیه برای ژنوتیپ i و صفت j ؛ g_{i2} و e_{2j} به ترتیب اثرهای ثانویه برای ژنوتیپ i و صفت j ؛ d_j انحراف استاندارد فنوتیپی در صفت j و ε_{ij} عبارت از مقدار باقی‌مانده توجیه نشده به وسیله اثرهای اولیه و ثانویه است. بای پلات مورد نظر به وسیله رسم g_{i1} در مقابل g_{i2} و e_{1j} در مقابل e_{2j} در یک نمودار پراکنش ایجاد شد. برای به کار گیری معادله فوق از رایج‌ترین روش،یعنی تجزیه به مقادیر منفرد[1] (SVD)، استفاده شد:

$$\hat{Y_{ij}} - \mu - \beta_j / d_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij}$$ (رابطه ۲)

که در آن λ_1 و λ_2 به ترتیب مقادیر ویژه اولین و دومین مولفه اصلی بزرگ (PC_1 و PC_2) هستند. ξ_{i1} و ξ_{i2} به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ i برای PC_1 و PC_2 و η_{1j} و η_{2j} به ترتیب بردارهای ویژه صفت j برای PC_1 و PC_2 هستند. این روش آماری توسط Yan and Kang (2002) و Yan (2014) توصیف شده است. کلیه بای پلات‌های ارایه شده توسط نرم افزار GGEBiplot ایجاد شدند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت عملکرد دانه نشان دادکه تاثیرکاربرد خاکی سولفات روی، نوع رقم و اثر متقابل آنها بر این صفت معنی‌دار بود ($p\leq0.01$) (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین عملکرد دانه در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین 18434-1 (۲۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و رقم سپیدرود (۶۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش عملکرد را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از درفک (۸۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، لاین 18431-1 (۷۶۰۰کیلوگرم در هکتار) و سپیدرود (۶۹۱۰ کیلوگرم در هکتار). این در حالی است نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین عملکرد دانه در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین 18430-22 (۳۷۶۲ کیلوگرم در هکتار)و رقم سپیدرود (۶۶۹۷ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان عملکرد را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از ارقام سپیدرود (۶۶۹۷ کیلوگرم در هکتار)، درفک (۶۵۶۷ کیلوگرم در هکتار) و لاین RI18437-2 (۶۲۷۵ کیلوگرم در هکتار) (جدول۴). گزارشات متعددی مبنی بر افزایش عملکرد برنج در اثر مصرف‌کود روی به صورت مصرف خاکی سولفات روی (Mahmoudsoltani *et al*., 2017, 2018) و محلول‌پاشی سولفات‌روی وجود دارد (Mahmoudsoltani *et al*., 2019). پژوهشگران دیگری نیزگزارش‌کردندکه مصرف سولفات روی، ارتفاع گیاه، طول خوشه، پرشدن خوشه‌چه، وزن هزاردانه و درنهایت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (Zou *et al*., 2008). از دلایل افزایش عملکرد برنج به دنبال کاربرد سولفات‌روی، افزایش غلظت نیتروژن (Malakouti and Tehrani, 1999)، افزایش میزان کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی گیاه بوده که سبب توسعه پوشش گیاهی و افزایش شاخه، برگ و عملکرد گیاه می‌شود (Teale *et al*., 2007). در آزمایشی که اثر عناصر کم‌مصرف از جمله روی بر عملکرد دو رقم برنج محلی (بینام و رقم اصلاح شده سپیدرود) بررسی شد، نتایج نشان داد که روی به‌ترتیب موجب افزایش عملکرد هر دو رقم برنج (محلی و اصلاح شده) به میزان ۷۲۰ و ۱۰۷۰ کیلوگرم در هکتار گردید (Malakouti and Tehrani, 1999).

جدول ۳- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ارقام مختلف در میزان مختلف روی موجود در خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		GY	BY	SY	HI	PL
بلوک	۲	۴۲۶۶/۷ ns	۴۲۶۶/۷ ns	۳۴۰۰۱/۹ ns	۲/۳۱ ns	۰/۱۱ ns
فاکتور a(Zn)	۱	۱۳۰۹۵۰۱۳۸/۹ **	۹۲۹۳۳۱۸۵۲/۵ **	۳۶۲۵۸۲۵۲۸/۴ **	۰/۰۳۵ ns	۱۵/۹۱ **
اشتباه a (بلوک* Zn)	۲	۵۰۰۷/۴	۱۰۴۱۸۵/۸	۷۰۵۷/۴	۰/۹۴	۳/۲
فاکتورb (رقم)	۲۶	۳۱۶۲۹۱۳/۶ **	۱۱۶۳۰۱۸۱/۵ **	۱۰۰۲۱۳۹۱/۰ **	۱۵۳/۸۰ **	۱۸/۲۶ **
میزان روی*رقم	۲۶	۲۱۶۲۴۴۹/۵ **	۱۳۴۲۲۰۴۲/۵ **	۸۲۳۶۰۵۷/۹۰ **	۶۴/۷۰ **	۱/۷۲ **
اشتباه b (باقی‌مانده)	۵۲	۱۷۱۴۹/۵	۶۸۹۸۴۷/۲۵	۶۹۶۶۱۷/۶۹	۵/۸۳	۰/۳۷
ضریب تغییرات (٪)		۲/۲۲۴	۵/۲۰	۸/۴۱	۵/۵۰	۲/۵۴

GY، BY، SY، HI و PL، به ترتیب عبارتند از عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد کاه، شاخص برداشت و طول خوشه؛ ns،* و ** به ترتیب عبارتند از معنی‌دار نبودن، معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱و ۵ درصد

[1] Singular Value Decomposition

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ارقام مختلف در میزان مختلف روی موجود در خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		TGW	GPP	GAP	PH	TTN	FTN	TP	FLL	FLW	UFGN	FGN	Zn Up
بلوک	۲	۰/۳۹ ns	۱/۶۴ ns	۲۶/۶۸ ns	۶/۴۶ ns	۲/۹۱ ns	۰/۰۶ ns	۵۷/۵۷ ns	۵/۵۸ ns	۰/۰۷ ns	۰/۵۱ ns	۴/۲۶ ns	۰/۵۸ ns
فاکتور a (Zn)	۱	۳۹۲/۰ **	۴۶۷۸/۹۹ **	۳۲۳۲۱/۲۴ **	۱۵۲۲/۹۰ *	۱۷۶/۰۹ **	۳۰۵/۵۹ **	۳۹۴/۴۶ **	۱۱۷/۲۱ **	۰/۳۰ **	۰/۷۷۸ **	۸۸۱۰/۱۰ **	۴۵/۱۶ **
اشتباه a (بلوک* Zn)	۲	۱۷/۰۵۵	۱۵/۸۱	۲۳۸/۴۳	۳/۶۷	۷/۸۰	۰/۴۷	۵۵/۲۶	۳۰/۲۴۷	۰/۰۴	۰/۱۲۳	۸۰/۳۶	۰/۲۱
فاکتورb (رقم)	۲۶	۲۲/۴۱۴ **	۲۰۸۷/۵۲ **	۱۸۲۴۶/۶۹ **	۱۵۵۹/۴۲ **	۹۷/۵۸ **	۹۲/۸۵ **	۶۹۷/۶۵ **	۴۳/۴۶ **	۰/۰۹ **	۱۴۷/۹۴ **	۱۳۲۶/۶۵ **	۴۹/۵۸ **
میزان روی*رقم	۲۶	۱۰/۷۸ **	۱۰۳/۵۳ **	۱۶۰۵/۶۳ **	۸۳/۴۸ **	۱۰/۸۲ **	۱۰/۰۲ **	۵۳/۹۱ *	۵/۶۰ ns	۰/۰۲ ns	۱۳/۸۴ **	۹۵/۸۷ **	۲۷/۵۱ **
اشتباه b	۱۰۴	۰/۸۹	۷/۲۲	۱۹/۱۱	۲/۶۸	۳/۱۰	۲/۶۰	۳۱/۰۶	۹/۱۶	۰/۰۲	۰/۸۰	۱۲/۶۷	۱/۲۸
ضریب تغییرات (٪)		۳/۴۸	۲/۴۸	۳/۴۴	۱/۲۰	۶/۷۲	۷/۰۷	۶/۲۱	۱۰/۵۱	۱۳/۳۷	۷/۳۵	۲/۹۸	۱۰/۵۰

TGW، GPP، GAP، PH، TTN، FTN، TP، FLL، FLW، UFGN، FGN و ZnUp به ترتیب عبارتند از وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه، باروری دانه ، ارتفاع بوته، تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور، باروری پنجه، عرض برگ پرچم، طول برگ پرچم ، تعداد دانه پر، تعداد دانه پوک و میزان جذب روی؛ ns ،* و ** به ترتیب عبارتند از معنی دار نبودن، معنی دار بودن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

عملکرد زیست توده

نتایج تجزیه واریانس صفت عملکرد کاه و کلش نشان دادکه تاثیر کاربرد خاکی سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و نوع رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ($p\leq0.01$) و اثر متقابل آنها بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود ($p\leq0.05$) (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین عملکرد زیست توده در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۱۸۴۳۱-۱ (۵۴۶۷ کیلوگرم در هکتار) و رقم صالح (۱۶۱۹۱ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش عملکرد را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از ابجی بوجی (۲۰۵۴۰ کیلوگرم در هکتار)، لاین ۱۸۴۳۱-۱ (۲۰۰۵۰ کیلوگرم در هکتار) و رقم صالح (۱۹۴۴۷ کیلوگرم در هکتار) و این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین نشان می دهد که پایین‌ترین و بالاترین عملکرد زیست توده در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به رقم گوهر (۱۱۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) و صالح (۱۷۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان عملکرد زیست توده را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از ارقام صالح (۱۹۴۴۷ کیلوگرم در هکتار)، آبجی بوجی (۱۶۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و درفک (۱۵۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) (جدول۴). عملکرد زیستی تجمع ماده خشک در گیاه را نشان می‌دهد (Uphoff, 2005) (یوفوف، ۲۰۰۵). عملکرد یک گیاه را می‌توان از طریق افزایش کل ماده خشک تولیدی در مزرعه بالا برد. محققان طی آزمایشی نشان دادند که افزایش عملکرد دانه ناشی از افزایش عملکرد زیستی و ضریب برداشت می‌باشد. Rehman *et al.* (2012) گزارش نمود که افزایش عملکرد ماده خشک با مصرف عنصر ریزمغذی روی به دلایل مختلفی از جمله افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش آنزیم کربونیک انهیدراز که در تمامی بافت‌های فتوسنتزی حضور دارد و برای بیوسنتز کلروفیل مورد نیاز است، بهبود عملکرد فتوسیستم‌های نوری، افزایش فعالیت فسفواینول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش جذب نیتروژن و فسفر در حضور عنصر روی مرتبط می‌باشد. تمامی عوامل مذکور در افزایش شاخص‌های رشد از قبیل تعداد و اندازه برگ، ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی مؤثر می‌باشد و از این طریق عملکرد ماده خشک افزایش می‌یابد. گزارش شده است که عنصر روی میزان فتوسنتز و دوام سطح برگ را افزایش داد و در نتیجه میزان تولید مواد پرورده افزایش می‌یابد(Yousefi, 2012). عنصر روی در تشکیل کلروفیل و متابولیسم پایه نقش دارد و افزایش کلروفیل باعث افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه افزایش وزن خشک می‌شود (Amani, 1995). Zou *et al.* (2008) نیز گزارش کرد که مصرف سولفات روی، ارتفاع بوته، طول خوشه، افزایش تعداد دانه‌های پر (پر شدن خوش چه)، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ، کاه و زیست توده را افزایش داد. این یافته ها با نتایج Serivastava *et al.* (2014) در یک راستا قرار دارند.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس صفت شاخص برداشت نشان دادکه اگرچه کاربردخاکی سولفات روی تاثیر معنی‌داری بر این صفت ندارد ولی نوع رقم و اثر متقابل آنها بر این صفت تاثیرمعنی‌دار داشت ($p\leq0.01$) (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین شاخص برداشت در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به رقم آنام (۲۷/۷ درصد) و رقم گوهر (۴۹/۳ درصد) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش شاخص برداشت را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از رش (۳۵ درصد)، کادوس (۳۱ درصد) و لاین SA6 (

۳۰ درصد). این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین عملکرد دانه در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به ارقام گوهر و آنام تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان عملکرد را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از ارقام گوهر (۴۹/۲ درصد)، سپیدرود (۴۷/۹ درصد) و دیلمانی (۴۳/۷ درصد) (جدول۴). شاخص‌برداشت بالا لازمه عملکرد بالاست ولی شرط کافی رسیدن به عملکرد مطلوب نیست. عوامل‌کلیدی تعیین‌کننده شاخص برداشت، وزن خشک در زمان خوشه‌دهی و سرعت رشد محصول در مرحله خوشه‌دهی می‌باشد. معمولاً وزن خشک در مرحله خوشه‌دهی و سرعت رشد محصول در مرحله خوشه‌دهی با هم رابطه عکس دارند. در مطالعات محققان دیگری به اثرات مثبت مصرف کود سولفات روی بر شاخص برداشت برنج اشاره شده است (Dobermann and Fairhourst, 2000; Slaton *et al*., 2001; Cakmak, 2008). نتایج این پژوهش با یافته‌های Mahmoudsoltani *et al*. (2016, 2017) در یک راستا می باشد.

طول خوشه

نتایج تجزیه واریانس صفت طول خوشه نشان دادکه تاثیر کاربرد خاکی سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار، نوع رقم و اثر متقابل آنها بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است ($p\leq0.01$) (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین طول خوشه در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۱۸۴۳۷-۲ (۲۳/۷ سانتی‌متر)و رقم صالح (۳۱/۷ سانتی‌متر) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش طول خوشه را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از رقم اهلمی طارم (۱۸/۸ درصد) و لاین‌های ۱۸۴۴۳-۲ (۷ درصد) و ۲-۱۸۴۳۷(۷ درصد). این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن است که پایین‌ترین و بالاترین میزان طول خوشه در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۱-۱۸۴۳۶ (۲۴/۵ سانتی‌متر)و صالح (۳۷/۳ سانتی‌متر) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان طول خوشه را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از ارقام صالح (۳۷/۳ سانتی‌متر)، هاشمی (۳۶/۲ سانتی‌متر) وکادوس (۳۰/۱ سانتی‌متر) (جدول۴). اگرچه طول خوشه مستقیماً در محاسبه عملکرد نقشی ندارد ولی به عنوان یکی از صفات ارزیابی عملکرد مورد توجه است ولی معمولاً ارقامی با طول خوشه بلندتر، عملکرد بیشتری دارند (Mohadesi, 2006). بررسی‌ها نشان داده است که طول خوشه یک صفت ژنتیکی است اما در شرایط اقلیمی و خاکی مختلف بین طول خوشه اختلاف وجود داشته است. در همین راستا با بررسی ۲۰ ژنوتیپ پرمحصول برنج گزارش شده که ارقام برنج دارای عملکرد بالا دارای طول خوشه زیاد، تعداد دانه پر بیشتر و ساقه‌های اصلی و فرعی طویل بودند (Turner and Jund, 1991). به نظر می‌رسد کاربرد خاکی سولفات روی نسبت به محلول‌پاشی این ماده تأثیر مثبت بیشتری بر طول خوشه داشته و باعث افزایش در این صفت شده است. گزارش شده است که طول خوشه برنج با مصرف ۲۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار افزایش یافت (Mahmoudsoltani *et al*., 2020). همچنین در پژوهشی دیگر نیز گزارش شده است که بالاترین طول خوشه (۲۳/۷۳ سانتی‌متر) با مصرف ۱۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار به دست آمد (Khan *et al*., 2007). گزارش شده است که طول خوشه برنج با مصرف ۳۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار افزایش یافت (Rehman, 2011). هم‌چنین در پژوهشی دیگر نیز گزارش شده است که بالاترین طول خوشه (۲۳/۷۳ سانتی‌متر) با مصرف ۱۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار به دست آمد (Khan *et al*., 2007).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس صفت وزن هزار دانه نشان دادکه کاربرد خاکی سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار، نوع رقم و اثر متقابل آنها بر این صفت در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار داشته است ($p\leq0.01$) (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین میزان وزن هزار دانه در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۱- ۱۸۴۳۶ (۱۷ گرم) و رقم گوهر (۲۷ گرم) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش عملکرد را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از رقم حسنی (۵۹ درصد) و لاین‌های ۱-۱۸۴۳۶ (۴۱ درصد) و ۲۲-۱۸۴۳۰ (۳۴ درصد). این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن است که پایین‌ترین و بالاترین میزان وزن هزار دانه در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به ارقام اهلمی طارم (۱۹/۸ گرم) و حسنی (۲۷/۷ گرم) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان وزن هزار دانه را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از ارقام حسنی (۲۷/۷ گرم) ، گوهر (۲۷ گرم)و لاین ۱-۱۸۴۳۱ (۲۵/۵ گرم)(جدول۴).

در برنج، اغلب وزن هزار دانه ثابت است و از پایدارترین ویژگی‌های رقم به شمار می‌رود، زیرا رشد دانه در این گیاه با پوست آن محدود می‌شود. وزن هزار دانه به همراه چند جزء دیگر نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه ارقام جدید که دارای قابلیت

تولید بالایی می‌باشند، دارند. با این وجود به نظر می‌رسد کاربرد سولفات روی تأثیر مثبتی بر وزن هزار دانه داشته و باعث افزایش در این صفت شده است. با افزایش مقدار کود سولفات روی مصرف شده، وزن هزار دانه برنج نیز بیشتر شد(Rahman *et al*., 2011). به نظر می‌رسد که افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف روی به دلیل افزایش مواد ذخیره شده و کاهش محدودیت منبع می‌باشد که موجب سرازیر شدن مواد پرورده به سمت دانه می‌گردد. سایر محققین نیز اثر مثبت کاربرد عنصر روی را بر افزایش وزن هزار دانه گزارش کرده‌اند که این افزایش به احتمال زیاد مربوط به تأثیر عنصر روی بر هورمون ایندول استیک اسید می‌باشد. هم‌چنین، محققان مهم‌ترین دلیل افزایش وزن هزاردانه را افزایش و بهبود فرآیند انتقال مجدد مواد غذایی و افزایش انتقال اولیه به وسیله تحریک هورمون‌ها و افزایش انتقال در آوند آبکش دانستند و گزارش نمودند که تأثیر سولفات روی بر افزایش کارایی آوند آبکش در انتقال مواد غذایی به دانه و پر شدن آن از مهم‌ترین عوامل تأثیر سولفات روی بر افزایش وزن هزار دانه است(Jiang *et al*., 2007).

تعداد دانه در خوشه و درصد فراوانی دانه در خوشه (درصد باروری خوشه)

نتایج تجزیه واریانس صفات تعداد دانه در خوشه و درصد فراوانی دانه در خوشه نشان دادکه کاربرد خاکی سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد تاثیر معنی‌داری بر آنها داشته وهمچنین نوع رقم و اثر متقابل آنها نیز بر این دو صفت در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار دارد ($p\leq0.01$) (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین میزان تعداد دانه در خوشه و درصد فراوانی دانه در خوشه در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۲- ۱۸۴۳۶(۸۷/۳ عدد) و رقم گوهر (۱۵۸/۳ عدد) تعلق دارد. همچنین سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش در این صفت را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از لاین-های ۱-۱۸۴۳۶ (۲۲/۷ درصد) ، ۱-۱۸۴۳۷ (۲۰ درصد) و ۵-۱۸۴۴۳ (۱۷/۱ درصد) برای صفت تعداد دانه در خوشه و لاین-های ۱-۱۸۴۳۶ (۲۰/۳ درصد) ، ۲-۱۸۴۳۰ (۱۸/۹ درصد) و ۱-۱۸۴۳۷ (۱۷/۳ درصد) برای صفت درصد باروری خوشه . این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین تعداد دانه در خوشه و درصد باروری خوشه در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۲- ۱۸۴۳۶(۹۷/۷ عدد) و رقم گوهر (۱۷۱/۸ عدد) ، و سپیدرود (۲/۲ برابر) و گوهر (۵/۷ برابر)تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین تعداد دانه در خوشه و درصد باروری خوشه را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از ارقام گوهر (۱۷۱/۸ عدد)، خزر (۱۵۷/۴ عدد) و گیلانه (۱۵۱/۲ عدد)، و ارقام گوهر (۵/۷ برابر)، خزر (۵/۴ برابر) و رش(۵/۳ برابر) (جدول۴).

درصد دانه‌های پرشده به عوامل محیطی، شرایط تغذیه‌ای و فتوسنتز گیاه پس از گلدهی بستگی دارد. زیرا قسمت عمده کربوهیدرات‌ها در دانه از مواد فتوسنتزی تولید شده پس از گرده‌افشانی تأمین می‌گردد. درصد خوشچه‌های پرشده نقش مهمی در افزایش عملکرد برنج که قابلیت بالایی دارند، خواهند داشت. هم‌چنین ظرفیت مخزن نقش مهمی در تخصیص ماده خشک اندام‌های هوایی به خوشه‌ها دارد. وزن خشک خوشه در انتهای مرحله خوشه‌دهی رابطه نزدیکی با عملکرد داشته به نحوی که وزن خشک خوشه بالاتر در زمان خوشه‌دهی (ظرفیت مخزن بالاتر) باعث افزایش وزن خشک خوشه در زمان برداشت می‌شود و درصد پر شدن دانه‌ها افزایش می‌یابد (Yushida, 1983). در پژوهشی مشخص شد که مصرف ۵ کیلوگرم روی در هکتار، باعث افزایش تعداد دانه در خوشه و افزایش وزن هزار دانه در برنج گردید (Rahman *et al*., 2011).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس صفت ارتفاع بوته نشان دادکه کاربردخاکی سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار، نوع رقم و اثر متقابل آنها بر این صفت در سطح احتمال یک درصد تاثیرمعنی‌دار داشته است ($p\leq0.01$) (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین میزان ارتفاع بوته در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به ارقام آنام (۱۰۴ سانتی‌متر) و رقم آبجی بوجی (۱۵۵ سانتی‌متر) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش عملکرد را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از ارقام دیلمانی (۱۹/۷ درصد)، آنام (۱۶/۵ درصد) و هاشمی (۱۳ درصد). این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن است که پایین‌ترین و بالاترین میزان ارتفاع بوته در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به ارقام آنام (۱۱۳ سانتی‌متر) و هاشمی (۱۶۴ سانتی‌متر) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان ارتفاع بوته را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از ارقام هاشمی (۱۶۴ سانتی‌متر) ، آبجی بوجی (۱۵۷ سانتی‌متر) و اهلمی طارم (۱۵۷ سانتی‌متر) (جدول۴). محققان اظهار داشتند که افزایش ارتفاع گیاه در نتیجه افزایش تقسیم و طویل شدگی سلولی در اثر کاربرد روی می‌باشد. علاوه بر آن روی،

یکی از فاکتورهای مهم تأثیرگذار در فعالیت آنزیم تریپتوفان سینتتاز می‌باشد و با توجه به اینکه اسید آمینه تریپتوفان به عنوان پیش ماده تولید اکسین عمل می‌کند، لذا با افزایش تولید اکسین، تشدید چیرگی رأسی و متعاقب آن افزایش رشد طولی ساقه و شاخسارهها دور از انتظار نخواهد بود (Mahmoudsoltani, 2018). تحقیقات نشان می‌دهد که کاربرد عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز با افزودن بر ارتفاع ساقه موجب افزایش عملکرد ماده خشک شده و کمبود روی به علت تأثیر سوء بر بیوسنتز اکسین می‌تواند باعث کاهش ارتفاع ساقه و عملکرد گیاه شود (Malakouti and Tehrani, 1999).

تعداد کل پنجه ، تعداد پنجه بارور و درصد باروری پنجه

نتایج تجزیه واریانس صفات تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور و درصد باروری پنجه نشان دادکه کاربرد خاکی سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در سطح احتمال پنج، یک و پنج درصد تاثیر معنی‌داری بر آنها داشته و همچنین نوع رقم نیز بر این صفات در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار داشته و اثر متقابل آنها بر تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور و درصد باروری به ترتیب در سطح احتمال یک، یک و پنج درصد تاثیر معنی‌داری داشت (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین میزان تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور و درصد باروری پنجه در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به رقم خزر (۱۳ عدد) و لاین ۱-۱۸۴۳۱ (۳۴ عدد) لاین SA6 (۱۲/۵ عدد) و رقم آبجی بوجی (۲۸/۵ عدد) و لاین SA6 (۵۴/۴ درصد) و رقم آبجی بوجی (۹۸/۷ درصد)تعلق دارد. همچنین سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش در این صفات را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از رقم خزر (۶۷/۷ درصد) ، لاین ۵-۱۸۴۴۳ (۲۶/۷ درصد) و رقم گوهر(۲۳ درصد) برای صفت تعداد کل پنجه و رقم خزر (۶۸/۹ درصد)، لاین ۵-۱۸۴۴۳(۳۶/۱ درصد) و رقم گیلانه (۳۲/۵ درصد) برای صفت تعداد پنجه بارور، ولاین‌های ۲۳ (۲۵/۳ درصد)، ۱-۱۸۴۳۱ (۲۳/۶ درصد) و ۲-۱۸۴۳۰ (۲۱/۶ درصد) برای صفت درصد باروری پنجه . این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور و درصد باروری پنجه در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به رقم خزر(۱۷/۴ عدد) و لاین ۱- ۱۸۴۳۱(۳۳/۹ عدد)، و رقم رش (۱۵/۵ عدد) و لاین SA1 (۳۰/۵ عدد)، و لاین ۲-۱۸۴۳۰ (۱۰۴ درصد) و رقم رش (۵۹/۵ درصد)تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور و درصد باروری پنجه را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند به ترتیب عبارتند از لاین‌های ۱-۱۸۴۳۱(۳۳/۹ عدد)، BC25 (۳۲ عدد) و SA1 (۳۰/۵) برای صفت تعداد کل پنجه، لاین‌های SA1 (۳۰/۵ عدد)، BC25 (۳۰/۴ عدد) و ۲-۱۸۴۳۷(۲۷/۳ عدد) برای صفت تعداد پنجه بارور و لاین ۲-۱۸۴۳۰(۱۰۴ درصد) و ارقام گیلانه (۱۰۱ درصد) و حسنی (۹۸/۲ درصد) برای درصد باروری پنجه (جدول۴).

اولین جزو عملکرد که به وسیله عوامل ژنتیکی کنترل می‌گردد، تعداد خوشه یا پنجه‌های بارور هر بوته است. عملکرد دانه غلات تا حد زیادی به پنجه‌های بارور در هر گیاه بستگی دارد (Yoshida, 1983). ظرفیت پنجه‌زنی یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد برای افزایش عملکرد دانه به شمار می‌آید. لازمه دستیابی به عملکرد بالا در برنج نیز وجود تعداد کافی پنجه بارور در واحد سطح است. چون تعداد خوشه‌ها مهم‌ترین عاملی است که عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش تعداد پنجه بارور در واحد سطح، عامل افزایش عملکرد برنج می‌باشد، چرا که با افزایش تعداد پنجه در واحد سطح (تعداد بالقوه خوشه)، مقدار مواد غذایی که به هر خوشه اختصاص می‌یابد، کمتر خواهد شد که این عامل موجب کاهش عملکرد دانه خواهد گردید. در یک آزمایش گزارش شد که تعداد پنجه در برنج با افزایش عنصر روی در خاک بیشتر می¬گردد (Mahmoudsoltani *et al*., 2017). محققان بیان کردند که مصرف روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار به شکل سولفات روی باعث افزایش معنی دار تعداد پنجه در کپه برنج گردید (Mahmoudsoltani *et al*., 2019). عنصر روی با تأثیر بر فرآیندهای شیمیایی مانند سنتز نوکلئوتیدها، متابولیسم اکسین و فعالیت آنزیم‌ها نقش مؤثری بر تولید پنجه در گیاهان دارد (Mahmoudsoltani *et al*., 2017). گزارش شده است که با افزایش میزان روی در خاک، تعداد پنجه بارور در برنج افزایش می¬یابد (Mohammad *et al*., 2002). Mahmoudsoltani *et al*. (2016, 2017, 2019, 2020) از مصرف منابع مختلف کود روی و اثرات آن بر رشد و غلظت روی در برنج، افزایش معنی‌داری در تعداد پنجه در مترمربع، وزن هزاردانه و شاخص برداشت گزارش کردند.

طول و عرض برگ پرچم

نتایج تجزیه واریانس صفات طول و عرض برگ پرچم نشان دادکه کاربرد خاکی سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و همچنین نوع رقم در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌داری بر آنها داشته ($p\leq0.01$) ولی اثر متقابل‌شان بر این دو صفت تاثیر معنی‌داری ندارد (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین طول و عرض برگ پرچم در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین

۱- ۱۸۴۳۶(۲۵/۵ سانتی‌متر)و رقم گیلانه (۳۶/۵ سانتی‌متر)، و لاین‌های ۲-۱۸۴۳۰ (۰/۹ سانتی‌متر) و ۱-۱۸۴۳۱ (۱/۳ سانتی‌متر)تعلق دارد. همچنین سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش در این صفات را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از لاین‌های ۲۳ (۱۹/۳ درصد)، BC25 (۱۸/۹ درصد)و SA6 (۱۷ درصد)برای صفت طول برگ پرچم و ارقام گوهر (۴۷/۲ درصد)، خزر (۳۲/۵ درصد) و کادوس (۱۸/۱ درصد) برای صفت عرض برگ پرچم. این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین مقدار طول و عرض برگ پرچم در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به رقم لاین ۱- ۱۸۴۳۷(۲۷/۵ سانتی‌متر) و رقم آبجی بوجی (۳۸ سانتی‌متر)، و لاین ۲-۱۸۴۳۰ (۰/۹ سانتی‌متر) و گوهر (۱/۵ سانتی‌متر) تعلق داشته و سه رقمی که به ترتیب بالاترین مقدار طول و عرض برگ پرچم را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از ارقام آبجی بوجی (۳۸ سانتی متر)، درفک (۳۵/۸ سانتی‌متر) و لاین BC25 (۳۵/۷ سانتی‌متر)، و ارقام گوهر(۱/۵ سانتی‌متر)، کادوس (۱/۳ سانتی‌متر) و رش (۱/۳ سانتی‌متر) (جدول۴).

برگ پرچم در مقایسه با سایر اندام‌های گیاه برنج مؤثرترین ساختمان فتوسنتزی گیاه محسوب می‌شود که به میزان ۴۱ تا ۴۳ درصد در افزایش وزن دانه سهیم است. از این رو برگ پرچم از نظر فتوسنتزی، فعال‌ترین برگ در طول دوره تشکیل دانه محسوب می‌شود. همچنین برگ پرچم با عملکرد دانه و اجزای عملکرد از قبیل تعداد دانه کل در بوته، تعداد دانه در خوشه و طول خوشه همبستگی داشته و به نظر می‌رسد ارقامی که مساحت (طول و عرض) بیشتری دارند، سطح بیشتری برای جذب تابش و انجام عمل فتوسنتز داشته و در نتیجه عملکرد بهتری را دارند Serivastava (2014) نشان داد که با محلول‌پاشی سولفات روی محتوای روی در برگ پرچم تا ۴۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت که می‌تواند به افزایش عملکرد و محتوای روی دانه کمک نماید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هرچه مساحت برگ پرچم بیشتر باشد توان جذب و ذخیره روی و سایر عناصر در آن افزایش می‌یابد. از آنجایی که جذب و ذخیره بیشتر هر عنصرغذایی با بزرگی منبع ارتباط تنگاتنگ دارند می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر روی بر این صفت بسیار با اهمیت است.

تعداد دانه پر و پوک

نتایج تجزیه واریانس صفات تعداد دانه پر و پوک نشان دادکه کاربرد خاکی سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌داری بر تعداد دانه پر و پوک دارد ($p\leq0.01$). همچنین عامل و اثر متقابل نوع رقم و کاربرد خاکی سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌داری بر این دو صفت داشت (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین تعداد دانه پر و پوک در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۲- ۱۸۴۳۰ (۱۳۴/۱ عدد) و رقم کادوس (۸۱/۱ عدد)، و ارقام طاهر(۵ عدد) و کادوس (۲۳/۱ عدد) تعلق داشت. همچنین سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش در این صفات را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از رقم اهلمی طارم (۴۹/۵ درصد) و لاین‌های ۲-۱۸۴۳۰(۲۳/۴ درصد) و ۱-۱۸۴۳۶ (۲۲/۲ درصد) برای صفت تعداد دانه پر و ارقام گوهر (۵۱/۱ درصد)، اهلمی طارم (۲۶/۵ درصد) و هاشمی (۱۹/۳ درصد) برای صفت تعداد دانه پوک. این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین تعداد دانه پر و پوک در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به رقم گوهر(۱۴۱/۳ عدد) و لاین ۲- ۱۸۴۳۰(۹۰/۵ عدد)، و ارقام گوهر(۲۷ عدد) و طاهر(۵/۶ عدد) تعلق داشته و سه رقم یا لاینی که به ترتیب بالاترین تعداد دانه پر و پوک را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از ارقام ارقام گوهر(۱۴۱ و ۲۷ عدد)، خزر (۱۴۰ و ۲۳/۵ عدد) و کادوس (۱۴۰ و ۲۱/۷ عدد) برای هر دو صفت (جدول۴).

تعداد دانه پر یکی از اجزای اصلی عملکرد در برنج است که می‌تواند به‌عنوان معیاری جهت انشعاب ارقام و لاین‌های پرمحصول برنج استفاده شود (Miller *et al*., 1991). درصد دانه‌های پر شده به عوامل محیطی، شرایط تغذیه‌ای و فتوسنتز گیاه پس از گلدهی بستگی دارد. زیرا قسمت عمده کربوهیدرات‌ها در دانه از مواد فتوسنتزی تولید شده پس از گرده افشانی تأمین می‌گردد (Guilani *et al*., 2003). درصد خوشه‌چه‌های پر شده نقش مهمی در افزایش عملکرد برنج که قابلیت بالایی دارند، خواهند داشت. همچنین ظرفیت مخزن نقش مهمی در تخصیص ماده خشک اندام‌های هوایی به خوشه‌ها دارد. وزن خشک خوشه در زمان خوشه‌دهی کامل و در ارتباط نزدیک با عملکرد است. وزن خشک خوشه بالاتر در زمان خوشه‌دهی (ظرفیت مخزن بالاتر) باعث افزایش وزن خشک خوشه در زمان برداشت می‌شود و درصد پر شدن دانه‌ها افزایش می‌یابد(Yoshida, 1983). این نکته که چند درصد از خوشه‌چه‌های موجود در خوشه به دانه پر تبدیل می‌شوند، از نظر فیزیولوژیکی اهمیت فراوانی دارد. در پژوهشی مشخص شد که مصرف ۵ کیلوگرم روی در هکتار، باعث افزایش تعداد دانه در خوشه و افزایش وزن هزار دانه در برنج گردید (Rahman*et al*., 2011). همچنین محققان در مطالعه

اثرات روی بر اجزای عملکرد برنج به کاهش تعداد یا درصد دانه‌های پوک به علت کاربرد کود سولفات روی اشاره کرده‌اند (Mahmoudsoltani *et al*., 2016, 2017, 2019, 2020).

محتوای روی در اندام‌های گیاهی (جذب روی)

نتایج تجزیه واریانس صفت میزان جذب روی نشان دادکه کاربرد خاکی سولفات روی به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار، نوع رقم و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌داری بر این صفت دارد ($p\leq0.01$) (جدول۳). پایین‌ترین و بالاترین مقدار محتوای روی در اندام‌های گیاهی (جذب روی) در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۲- ۱۸۴۳۰(۲۸/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) رقم کادوس (۵/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) تعلق دارد. همچنین سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش در این صفات را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از ارقام کادوس (۷۱/۳ درصد) دیلمانی (۵۴/۵ درصد)، و لاین ۱- ۱۸۴۳۶ (۳۵/۹ درصد). این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین محتوای روی جذب روی در اندام‌های گیاهی در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۲- ۱۸۴۳۲ (۱۹/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) و ۱-۱۸۴۳۱ (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) تعلق داشته و سه رقم یا لاینی که به ترتیب بالاترین مجذب روی را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده‌اند عبارتند از ارقام لاین‌های ۲-۱۸۴۳۲(۱۹/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) ۲۲-۱۸۴۳۰(۱۴/۹میلی‌گرم در کیلوگرم) و ارقام اهلمی طارم (۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم)(جدول۴). با مصرف سولفات‌روی غلظت‌روی دانه و میزان روی جذب‌شده دانه افزایش یافت. محققان اعلام نمودند با افزایش کاربرد روی، غلظت روی در ریشه، ساقه و برگ ذرت افزایش‌یافت. به طوری‌که مقدارآن در اندام‌های هوایی بیشتر از ریشه بود (Mahmoudsoltani *et al*.,2016, 2017, 2019, 2020). در مطالعه حاضر، با افزایش غلظت سولفات روی، مقدار عنصر روی در گیاه نیز افزایش یافت. به عبارت دیگر، بین میزان فراهمی روی در خاک و غلظت روی جذب شده رابطه مثبتی مشاهده شد. افزایش غلظت روی در دانه برنج در اثر مصرف کود روی نشان دهنده توانایی در قابلیت دسترسی به این عنصر در خاک است که ممکن است به واسطه بهبود فعالیت آنزیمی و فرآیندهای متابولیکی گیاه باشد که در نهایت منجر به افزایش جذب روی می‌گردد (Khan, 2012). در مطالعه‌ای مشخص شد که مصرف ۱۳/۵ کیلوگرم روی در هکتار موجب افزایش غلظت روی در دانه برنج گردید. با افزایش جذب روی توسط گیاهان، روی در همه اندام‌های گیاه تجمع پیدا کرد که در اندام‌های رویشی به خصوص در ساقه و غلاف برگ (۴۰۰-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر از اندام‌های زایشی (در دانه ۵۰-۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود(Jiang *et al*., 2008). گزارش شده است که میزان غلظت روی در تیمار شاهد برابر ۶۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و با کاربرد سولفات روی به میزان ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برابر ۶۴/۳ و ۶۴/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت (Slatan *et al*., 2005). Stomph *et al*. (2011) نشان دادند که محلول‌پاشی سولفات روی در جبران کمبود عنصر روی و افزایش غلظت روی دانه برنج مؤثر بوده است. بررسی‌ها نشان داده است که مصرف خاکی سولفات روی در زمان پنجه‌زنی یا آغاز خوشه‌دهی باعث افزایش مقدار روی در خاک، موجب افزایش این عنصر در گیاه و دانه شد. به طوری‌که افزایش غلظت روی در بافت‌های سبز گیاه باعث افزایش ۲/۵ برابری محتوای روی دانه نسبت به تیمار شاهد شده بود و این افزایش با بالا رفتن میزان روی قابل جذب خاک، بهبود جذب روی توسط گیاه و افزایش انتقال مجدد روی از برگ‌ها به دانه در دوره پر شدن دانه همراه بود (Mahmoudsoltani *et al*., 2016, 2019, 2020; Rahman, 2014).

از آنجایی‌که جذب روی به تنهایی در انتخاب رقم (ارقام) و لاین (لاین‌های) مناسب برای کشت در شرایط کمبود روی نمی‌تواند تاثیر گذار باشد با استفاده از روش تجزیه رگرسیون مکانی و دخالت بقیه خصوصیات گیاهی به گزینش رقم (ارقام) و لاین (لاین‌های) مناسب پرداخته شد.

تجزیه به روش رگرسیون مکانی

تجزیه واریانس طرح کرت‌های خرد شده

آزمون نرمال بودن داده‌ها توسط روش کولموگروف- اسمیرنوف و بررسی همگنی خطاهای آزمایشی به وسیله آزمون بارتلت برای صفات اندازه‌گیری شده نشانگر صادق بودن این فرض‌ها برای کلیه صفات بود. نتایج مربوط به تجزیه طرح کرت‌های خرد شده برای صفات دارای اختلاف معنی‌داری در اثر متقابل بلوک در رقم در جدول (۳) ارائه شده است. اثر میزان روی موجود در خاک بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده به استثنای طول خوشه، درصد باروری دانه، شاخص برداشت، طول و عرض برگ پرچم معنی‌دار بود و آن‌ها را تحت تاثیر قرار داد. بین ارقام نیز از جنبه کلیه صفات، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. اثر متقابل رقم × میزان روی موجود در خاک نیز برای همه صفات به استثنای طول و عرض برگ پرچم معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن این اثر متقابل بیانگر متفاوت بودن واکنش ارقام مورد بررسی به میزان مختلف روی موجود در خاک بود.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده برای ارقام مورد بررسی در غربالگری

ژنوتیپ‌های برنج	صفات اندازه‌گیری شده								
	GPP	FGN	UFGN	1000GW	HI	SY	BY	GY	Zn Up
	عدد			گرم	درصد	کیلوگرم در هکتار			میلی گرم در کیلوگرم
SA6	۱۲۶/۱۳^{ij}	۱۱۱/۷۷^{gh}	۱۲/۴۳^{hijk}	۲۵/۰۰^{bcde}	۳۸/۲۳^{def}	۸۳۲۱/۶۷^{bcde}	۱/۳۶×۱۰^{۴} ^{defghi}	۵۲۹۰/۰۰^{ef}	۱۶/۳۶^{jklm}
سپیدرود	۱۱۳/۲۵^{lm}	۱۰۶/۴۵^{hi}	۱۱/۱۷^{hijklm}	۲۴/۵۰^{def}	۴۷/۹۲^{ab}	۷۲۹۳/۳۳^{def}	۱/۴۰×۱۰^{۴} ^{cdefgh}	۶۶۹۷/۵۰^{a}	۲۱/۶۸^{hijk}
۲-۱۸۴۳۷	۱۱۱/۲۸^{mn}	۹۶/۸۳^{jk}	۱۵/۶۷^{cde}	۲۱/۱۷^{gh}	۴۲/۳۲^{cd}	۸۶۳۰/۱۱^{bcde}	۱/۴۹×۱۰^{۴} ^{bcd}	۶۲۷۵/۰۰^{b}	۲۷/۳^{ab}
۱-۱۸۴۳۷	۱۳۵/۲۲^{gh}	۱۲۷/۲۵^{abcdefghijk}	۱۴/۴۷^{efg}	۲۳/۱۷^{efg}	۴۲/۰۲^{cd}	۶۹۲۳/۳۳^{ef}	۱/۲۱×۱۰^{۴} ^{ij}	۵۱۴۰/۰۰^{fg}	۲۲/۳۳^{fghij}
۲-۱۸۴۳۰	۹۷/۷۲^{o}	۹۰/۵۴^{k}	۱۰/۰۱^{klmno}	۲۳/۰۰^{efg}	۴۰/۵۶^{cde}	۸۹۶۰/۰۰^{bcd}	۱/۴۸×۱۰^{۴} ^{bcde}	۵۸۸۵/۰۰^{c}	۲۶/۵۵^{bcd}
۱-۱۸۴۳۶	۱۳۱/۸۳^{hi}	۱۱۲/۸۰^{fgh}	۱۲/۷۳^{ghij}	۲۰/۵۰^{h}	۳۲/۴۰^{ghi}	۹۴۱۵/۱۱^{b}	۱/۳۹×۱۰^{۴} ^{cdefgh}	۴۴۸۲/۵۰^{kl}	۲۶/۷۲^{bc}
۵-۱۸۴۴۳	۱۱۸/۲۰^{kl}	۱۰۲/۲۴^{ij}	۱۳/۰۷^{fgh}	۲۳/۰۰^{efg}	۳۸/۳۲^{def}	۷۴۸۵/۰۰^{cdef}	۱/۲۳×۱۰^{۴} ^{hij}	۴۷۸۵/۰۰^{hij}	۲۵/۹۷^{bcde}
۲۲-۱۸۴۳۰	۱۰۸/۸۳^{mn}	۹۴/۶۸^{jk}	۱۰/۸۷^{jklmn}	۲۲/۶۷^{fg}	۳۲/۱۰^{ghi}	۷۹۷۵/۰۰^{bcde}	۱/۱۷×۱۰^{۴} ^{j}	۳۷۶۲/۵۰^{n}	۲۵/۴۳^{bcdefg}
۱۸۴۳۱-۱	۱۰۷/۴۷^{mn}	۹۷/۹۷^{jk}	۱۱/۰۷^{ijklmn}	۲۵/۵۰^{bcd}	۳۹/۳۳^{cdef}	۷۸۳۱/۶۷^{bcde}	۱/۲۸×۱۰^{۴} ^{ghij}	۴۹۲۷/۵۰^{ghi}	۲۴/۹۵^{bcdefgh}
گوهر	۱۷۱/۷۷^{a}	۱۴۱/۳۰^{a}	۲۸/۳۰^{a}	۲۷/۰۰^{ab}	۴۹/۲۴^{a}	۵۸۹۶/۶۷^{f}	۱/۱۶×۱۰^{۴} ^{j}	۵۷۱۲/۵۰^{cd}	۲۲/۳۷^{fghij}
حسنی	۱۰۷/۳۰^{mn}	۱۰۱/۶۷^{ij}	۸/۸۵^{no}	۲۷/۶۷^{a}	۴۲/۵۵^{cd}	۷۸۲۶/۶۷^{bcde}	۱/۳۱×۱۰^{۴} ^{defghij}	۵۲۹۰/۵۰^{ef}	۱۸/۵۳^{klmn}
دیلمانی	۱۳۹/۰۵^{gh}	۱۲۷/۰۲^{cd}	۱۲/۶۰^{ghij}	۲۶/۰۰^{abcd}	۴۳/۶۵^{bc}	۷۳۳۳/۳۳^{def}	۱/۳۰×۱۰^{۴} ^{fghij}	۵۶۵۵/۰۰^{cd}	۲۴/۲۰^{bcdefghi}
قدسی	۱۱۲/۷۸^{lmn}	۹۳/۸۰^{k}	۹/۳۴^{lmno}	۲۵/۵۰^{bcd}	۳۴/۹۷^{fgh}	۸۵۰۵/۰۰^{bcde}	۱/۳۰×۱۰^{۴} ^{fghij}	۴۵۰۵/۰۰^{jkl}	۲۳/۳۰^{cdefghi}
رش	۱۴۴/۳۰^{ef}	۱۳۱/۸۰^{bc}	۱۰/۴۸^{klmno}	۲۵/۶۷^{abcd}	۳۶/۴۳^{efg}	۸۲۷۵/۰۰^{bcde}	۱/۳۳×۱۰^{۴} ^{defghij}	۴۹۹۵/۰۰^{ghi}	۱۵/۵۲^{n}
کادوس	۱۵۶/۷۳^{bc}	۱۴۰/۴۷^{a}	۲۱/۷۷^{abcd}	۲۵/۶۷^{abcd}	۳۸/۸۸^{cdef}	۸۵۵۸/۳۳^{bcde}	۱/۴۱×۱۰^{۴} ^{cdefg}	۵۵۶۲/۵۰^{de}	۱۷/۵۵^{lmn}
آنام	۱۱۸/۰۷^{kl}	۱۰۱/۷۷^{ij}	۱۲/۹۷^{fghi}	۲۵/۵۰^{bcd}	۲۹/۰۵^{i}	۹۶۵۵/۰۰^{b}	۱/۳۶×۱۰^{۴} ^{defghi}	۳۹۷۷/۵۰^{mn}	۲۰/۶۸^{ijkl}
هاشمی	۱۲۲/۳۷^{jk}	۱۱۶/۹۰^{efg}	۱۱/۸۵^{hijkl}	۲۶/۰۰^{abcd}	۳۴/۳۷^{fgh}	۸۹۵۰/۰۰^{bcd}	۱/۳۷×۱۰^{۴} ^{cdefghi}	۴۷۵۰/۰۰^{hijk}	۲۱/۶۷^{hijk}
صالح	۱۴۷/۲۳^{de}	۱۳۲/۵۰^{bc}	۱۷/۴۲^{c}	۲۳/۰۰^{efg}	۳۱/۳۰^{ghi}	۱۲۲۰۰/۰۰^{a}	۱/۷۸×۱۰^{۴} ^{a}	۵۵۸۷/۵۰^{d}	۲۵/۴۳^{bcdefg}
طاهر	۱۲۲/۵۷^{jk}	۱۱۸/۴۰^{efg}	۵/۵۷^{p}	۲۶/۶۷^{abc}	۳۴/۱۷^{fghi}	۸۳۳۶/۶۷^{bcde}	۱/۲۶×۱۰^{۴} ^{ghij}	۴۲۴۵/۵۰^{lm}	۲۱/۹۰^{ghijk}
درفک	۱۴۳/۲۸^{ef}	۱۲۷/۴۰^{cd}	۱۰/۱۰^{klmno}	۲۵/۰۰^{bcde}	۴۲/۲۰^{cd}	۸۹۰۰/۰۰^{bcd}	۱/۵۵×۱۰^{۴} ^{bc}	۶۵۶۷/۵۰^{a}	۲۰/۸۰^{ijkl}
گیلانه	۱۵۱/۲۳^{cd}	۱۲۱/۹۰^{de}	۱۶/۵۳^{cd}	۲۴/۵۰^{def}	۳۶/۸۵^{efg}	۸۱۲۱/۶۷^{bcde}	۱/۲۶×۱۰^{۴} ^{ghij}	۴۴۹۲/۵۰^{kl}	۲۲/۸۷^{efghij}
SA1	۱۳۰/۴۳^{hi}	۱۱۴/۲۲^{efgh}	۱۰/۴۰^{klmno}	۲۳/۰۰^{efg}	۳۸/۱۱^{cdef}	۸۵۵۵/۰۰^{bcde}	۱/۳۷×۱۰^{۴} ^{cdefghi}	۵۱۰۰/۵۰^{fg}	۳۰/۵۳^{a}
اهلمی‌طارم	۱۰۹/۶۷^{mn}	۱۱۶/۶۰^{efg}	۹/۱۳^{mno}	۱۹/۸۳^{h}	۴۲/۵۴^{cd}	۷۴۸۱/۶۷^{cdef}	۱/۳۰×۱۰^{۴} ^{efghij}	۵۵۵۰/۰۰^{de}	۲۳/۱۳^{defghi}
خزر	۱۵۷/۴۰^{b}	۱۳۹/۵۰^{ab}	۲۳/۲۷^{b}	۲۴/۶۷^{cdef}	۳۵/۳۹^{efgh}	۸۲۲۰/۰۰^{bcde}	۱/۲۶×۱۰^{۴} ^{ghij}	۴۵۱۷/۵۰^{jkl}	۱۶/۷۷^{mn}
BC25	۱۱۸/۰۰^{kl}	۱۱۹/۸۳^{def}	۱۰/۲۰^{klmno}	۲۴/۸۳^{cde}	۳۶/۶۰^{efg}	۹۲۵۰/۰۰^{bc}	۱/۴۴×۱۰^{۴} ^{cdef}	۵۱۲/۵۰^{fg}	۳۰/۵۳^{a}
لاین ۲۳	۱۲۱/۳۲^{jk}	۱۱۴/۵۳^{efg}	۱۴/۹۰^{def}	۲۶/۰۰^{abcd}	۳۴/۶۰^{fgh}	۹۵۶۵/۰۰^{b}	۱/۴۶×۱۰^{۴} ^{cdef}	۵۰۲۷/۵۰^{fgh}	۱۶/۷۳^{mn}
آبجی بوجی	۱۲۲/۵۰^{jk}	۱۱۷/۵۳^{efg}	۷/۸۲^{n}	۲۴/۰۰^{def}	۳۰/۷۷^{hi}	۱۱۶۰۰/۰۰^{a}	۱/۶۳×۱۰^{۴} ^{ab}	۴۷۳۷/۵۰^{jkl}	۲۵/۶۳^{bcdef}

GY، BY، SY، HI، PL، TGN، GPP، GAP، PH، TTN، FTN، TP، FLL، FLW، UFGN، FGN و ZnUp به ترتیب عبارتند از عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد کاه، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه پر، تعدد دانه پوک، تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، باروری دانه، ارتفاع بوته، تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور، باروری پنجه، عرض برگ پرچم، طول برگ پرچم و میزان جذب روی

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده برای ارقام مورد بررسی در غربالگری

	صفات اندازه‌گیری شده								
	ZnUp	FLW	FLL	FTP	FTN	TTN	PH ($\times 10^{2}$)	GAP ($\times 10^{4}$)	PL
	میلی گرم در کیلوگرم	درصد	سانتی متر	درصد	عدد		سانتی متر	درصد	سانتی متر
SA6	۱۲/۱۸ cde	۱/۰۹ bcd	۳۲/۲۰ abcd	۸۶/۰۱ cd	۱۹/۳۷ jklm	۲۲/۶۰ ghijk	۱/۱۹ klm	۴/۶۶ ghi	۲۷/۰۷ fghij
سپیدرود	۱۱/۱۷ cdefg	۱/۱۹ abcd	۳۴/۳۷ abc	۹۷/۲۲ abc	۲۱/۶۸ hijk	۲۲/۳۲ hijkl	۱/۱۸ klm	۲/۲۴ klm	۲۶/۶۸ hij
۲-۱۸۴۳۷	۱۹/۷۲ a	۱/۱۴ abcd	۲۷/۸۳ cd	۹۷/۹۷ abc	۲۷/۳۰ abcd	۲۷/۸۸ cd	۱/۱۲۶ n	۴/۵۶ hij	۲۴/۵۰ l
۱-۱۸۴۳۷	۱۱/۲۵ cdef	۱/۰۹ bcd	۲۷/۴۷ d	۸۴/۴۹ de	۲۲/۳۳ fghij	۲۶/۷۶ cdef	۱/۲۰ jkl	۵/۱۱ def	۲۶/۴۳ ij
۲-۱۸۴۳۰	۸/۷۶ ghijk	۰/۸۹ d	۲۹/۷۰ bcd	۱۰۴/۰۰ a	۲۶/۵۵ bcd	۲۶/۰۰ cdefgh	۱/۲۷ gh	۳/۵۶ p	۲۶/۶۴ hij
۱-۱۸۴۳۶	۹/۱۰ fghij	۱/۰۸ bcd	۲۷/۸۳ abcd	۹۵/۶۵ abcd	۲۶/۷۲ bc	۲۷/۹۳ cd	۱/۱۶۵ m	۴/۸۷ fg	۲۷/۰۷ fghij
۵-۱۸۴۴۳	۱۲/۶ bcd	۱/۰۹ bcd	۳۴/۵۷ abcd	۹۱/۲۶ bcd	۲۵/۹۷ bcde	۲۸/۳۳ bc	۱/۱۲۵ n	۴/۱۹ klmn	۲۸/۲۰ defg
۲۲-۱۸۴۳۰	۱۴/۹۲ b	۱/۰۵ bcd	۳۲/۴۰ cd	۹۷/۶۱ abc	۲۵/۴۳ bcdefg	۲۶/۰۶ cdefgh	۱/۲۶ hi	۴/۱۷ klmn	۲۵/۹۷ jk
۱۸۴۳۱-۱	۵/۰۱ l	۱/۳۴ ab	۳۴/۵۰ ab	۷۳/۶۰ e	۲۴/۹۵ bcdefgh	۳۳/۹۰ a	۱/۱۷ lm	۴/۳۳ jklm	۲۴/۸۷ kl
گوهر	۸/۰۶ jkl	۱/۴۵ a	۳۰/۷۲ bcd	۹۶/۳۴ abcd	۲۲/۳۷ fghij	۲۳/۱۸ fghij	۱/۲۳ ij	۵/۷۲ a	۳۰/۱۰ c
حسنی	۶/۴۴ kl	۱/۱۲ bcd	۳۱/۵۵ abcd	۹۸/۲۴ ab	۱۸/۵۳ klmn	۱۸/۸۳ klm	۱/۵۳ cd	۳/۸۳ op	۲۸/۰۳ defg
دیلمانی	۱۳/۰۱ ab	۱/۱۰ bcd	۲۹/۷۷ bcd	۹۵/۰۹ abcd	۲۴/۲۰ bcdefghi	۲۵/۴۳ cdefghi	۱/۵۶ bc	۴/۸۹ fg	۲۸/۴۲ de
قدسی	۱۲/۶۱ bcd	۰/۹۴ cd	۳۱/۷۷ abcd	۹۶/۵۲ abcd	۲۳/۱۳ cdefghi	۲۴/۱۳ defghij	۱/۴۷ e	۴/۱۲ mnop	۲۷/۴۰ efghi
رش	۱۰/۵۵ defgh	۱/۲۹ ab	۳۲/۹۳ abcd	۵۹/۵۴ f	۱۵/۵۱ n	۲۶/۰۶ cdefgh	۱/۱۹ klm	۵/۳۶ bcd	۲۶/۹۳ ghij
کادوس	۷/۰۳ jkl	۱/۳۲ ab	۳۰/۷۳ bcd	۹۴/۴۲ abcd	۱۷/۵۵ lmn	۱۸/۵۷ lm	۱/۲۲ jk	۵/۲۱ cde	۳۰/۱۰ bc
آنام	۱۱/۵۵ cdef	۱/۱۵ abcd	۳۵/۳۳ ab	۹۵/۲۸ abcd	۲۰/۶۸ ijkl	۲۱/۷۰ ijkl	۱/۱۲۳ n	۴/۲۴ klm	۲۷/۸۳ defgh
هاشمی	۱۲/۲۴ cd	۱/۱۲ bcd	۳۳/۱۰ abcd	۹۵/۵۰ abcd	۲۱/۶۷ hijk	۲۲/۷۰ ghij	۱/۶۴ a	۳/۹۰ no	۳۶/۱۷ ab
صالح	۹/۱۶ fghij	۱/۱۹ abcd	۳۱/۵۷ abcd	۹۱/۴۳ bcd	۲۵/۴۳ bcdefg	۲۷/۹۳ cd	۱/۳۰ fg	۴/۵۶ hij	۳۲/۳۰ a
طاهر	۱۰/۷۰ cdefgh	۱/۱۰ bcd	۳۵/۲۷ ab	۹۵/۹۲ abcd	۲۱/۹۰ ghijk	۲۲/۸۳ ghij	۱/۵۰ de	۴/۴۷ ijk	۲۷/۴۳ efghi
درفک	۱۲/۲۹ cd	۱/۱۱ bcd	۳۵/۷۷ ab	۹۷/۴۳ abc	۲۰/۸۰ ijkl	۲۱/۳۷ jkl	۱/۳۲ f	۴/۹۵ efg	۲۸/۹۷ cd
گیلانه	۱۰/۴۵ defghi	۱/۲۲ abc	۳۰/۶۳ bcd	۱۰۱/۰۰ ab	۲۲/۸۷ efghij	۲۲/۴۷ hijk	۱/۲۱ jk	۵/۴۲ abc	۲۷/۹۰ defgh
SA1	۹/۱۷ fghij	۰/۹۵ cd	۳۴/۷۳ ab	۹۵/۶۸ abcd	۳۰/۵۳ a	۳۱/۹۳ ab	۱/۲۲ jk	۴/۸۵ efg	۲۶/۹۰ ghij
اهلمی‌طارم	۱۳/۰۲ bc	۱/۰۵ bcd	۳۳/۶۷ abcd	۹۶/۵۶ abcd	۲۳/۱۳ defghi	۲۳/۹۷ efghij	۱/۵۷ b	۴/۰۷ mno	۲۷/۰۲ fghij
خزر	۱۰/۵۴ defgh	۱/۲۴ abc	۳۴/۰۰ abcd	۹۶/۲۶ abcd	۱۶/۷۷ mn	۱۷/۴۰ m	۱/۲۸ gh	۵/۵۶ ab	۲۸/۲۷ def
BC25	۱۱/۳۱ cdef	۱/۱۶ abcd	۳۵/۷۰ ab	۹۴/۹۸ abcd	۳۰/۴۳ a	۳۲/۰۳ ab	۱/۶۴ m	۴/۳۳ jklm	۲۷/۲۷ efghij
لاین ۲۳	۸/۴۵ hijk	۱/۱۵ abcd	۳۴/۷۳ ab	۶۱/۲۶ f	۱۶/۷۳ mn	۲۷/۲۶ cde	۱/۲۲ jk	۴/۶۶ ghi	۲۶/۰۳ ij
آبجی بوجی	۹/۷۴ fghi	۱/۰۶ bcd	۳۷/۹۷ a	۹۶/۹۲ abcd	۲۵/۶۳ bcdef	۲۶/۴۳ cdefg	۱/۵۷ b	۴/۴۲ ijkl	۲۷/۷۳ defghi

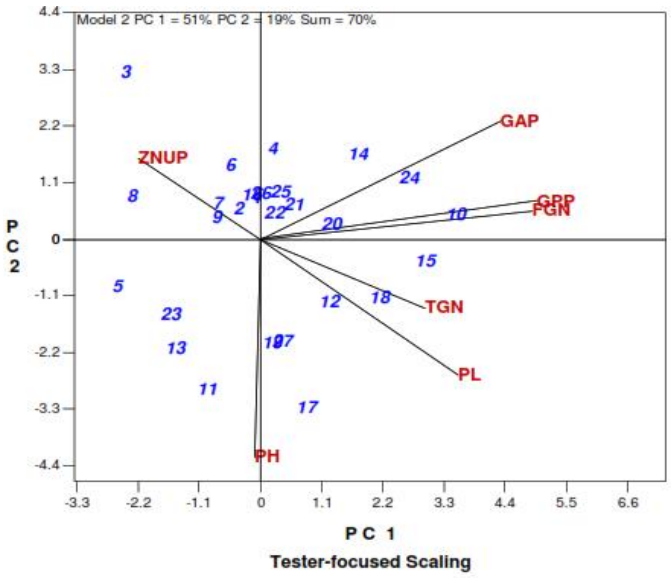
GY، BY، SY، HI، PL، TGN، GPP، GAP، PH، TTN، FTN، TP، FLL، FLW، UFGN، FGN و ZnUp به ترتیب عبارتند از عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد کاه، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه پر، تعدد دانه پوک، تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، باروری دانه، ارتفاع بوته، تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور، باروری پنجه، عرض برگ پرچم، طول برگ پرچم و میزان جذب روی

تجزیه بای پلات

میزان جذب روی در شرایط کمبود روی

برای صفاتی که تفاوت معنی‌دار در اثر اصلی یعنی میزان روی موجود در خاک مشاهده شد در هر سطح فاکتور اصلی به منظور شناسایی مطلوب ترین رقم، بای پلات مجزا ترسیم شد. با استفاده از داده‌های استاندارد شده ،بای پلات ژنوتیپ × صفت در نرم افزار GGEbiplot ایجاد شد (شکل۱). این بای پلات به درک روابط متقابل میان صفات و ارقام بر اساس صفات کمک می‌کند. مدل مورد استفاده (مدل ۲) و درصد توجیه تغییرات GT به وسیله هر محور به ترتیب ۵۱ درصد و ۱۹ درصد توسط اولین و دومین مولفه اصلی در بالای بای پلات نمایش داده شده است. به این ترتیب، بای پلات ۷۰ درصد از تغییرات کل را توجیه کرد. صفات با بردار کوتاه در بای پلات توانایی کمتری در تمایز ژنوتیپ‌ها نسبت به سایر صفات برخوردارند (Yan, 2014). در این مطالعه طول بردار تمامی صفات به غیر از صفت جذب روی بیشتر بودند که نشان دهنده توانایی تاثیر آن‌ها در ارقام قرار گرفته در آن ناحیه است. کسینوس زاویه بین دو بردار میزان همبستگی بین صفات را برآورد می‌کند. بنابراین ارتباط میان کلیه صفات را می-توان به راحتی از بای پلات تخمین زد. روابط متقابل میان صفات در بای پلات شکل (۱) نمایش داده شده است. زاویه بین بردارهای تعداد در خوشه و تعداد دانه پر بسیار کم بودند. در نتیجه این صفات همبستگی زیادی با یکدیگر دارند. زاویه بین خصوصیات درصد باروری دانه ، تعداد دانه کل، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه و تعداد دانه پر حاده بودند که نشان دهنده وجود همبستگی مثبت بین این صفات است. رابطه بین صفت ارتفاع

بوته با صفات طول خوشه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه ، تعداد دانه پر و درصد باروری دانه مثبت اما بسیار ضعیف بود. زاویه منفرجه بین صفت جذب روی با سایر صفات حاکی از همبستگی منفی است. روابط مشخص شده در بای پلات را می‌توان با برآورد ضریب همبستگی (جدول ۵) تایید کرد.



شکل ۱- شمای برداری بای پلات ژنوتیپ × صفت (TGN، FGN، GPP، PL، GAP، PH و ZnUp به ترتیب عبارتند از وزن هزار دانه، تعداد دانه پر،تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، باروری دانه، ارتفاع بوته و میزان جذب روی)

جدول ۵-ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه

ZnUp	PH	GAP	PL	GPP	FGN	TGN	
-۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۴۲	۱	TGN
-۰/۲۶	-۰/۱۲	۰/۰/۸۸	۰/۶۲	۰/۹۶	۱		FGN
-۰/۳۰	-۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۶۳	۱			GPP
-۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۲۵	۱				PL
-۰/۱۹	-۰/۲۴	۱					GAP
-۰/۰۲۳	۱						PH
۱							ZnUp

TGN، FGN، GPP، PL، GAP، PH و ZnUp به ترتیب عبارتند از وزن هزار دانه، تعداد دانه پر،تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، باروری دانه، ارتفاع بوته و میزان جذب روی

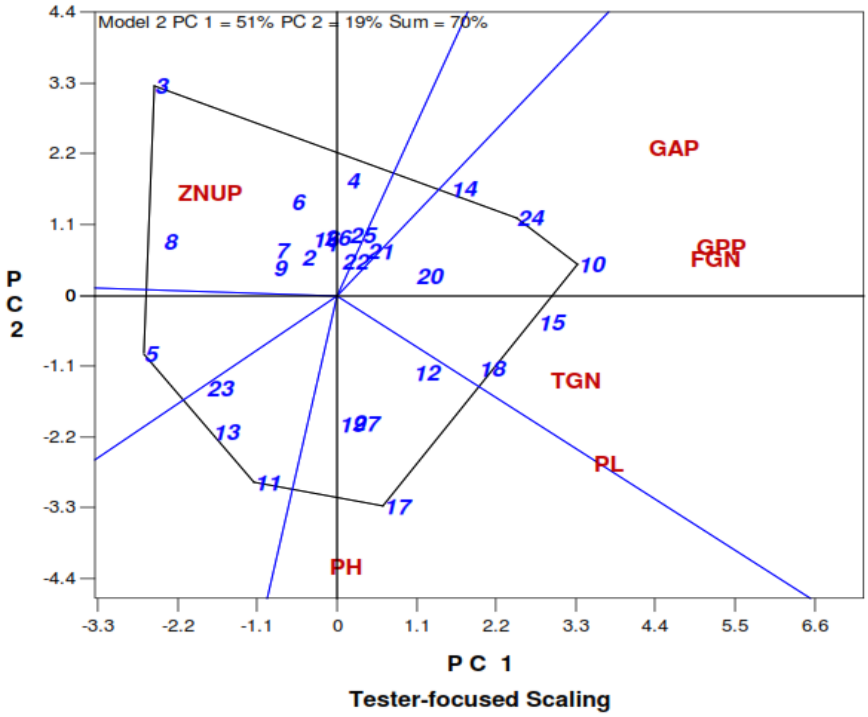
بررسی برتری ارقام مورد مطالعه از لحاظ یک یا چند صفت

شمای چند ضلعی از پیوستن ارقامی که دورترین فاصله را از مبداء بای پلات دارند (۱۰، ۲۴، ۳، ۵، ۱۱ و ۱۷) ترسیم شده است. ارقام واقع در گوشه چند ضلعی، ارقام رأس نامیده می‌شود. خطوط عمود به ضلع‌های چند ضلعی بای پلات را به چند بخش تقسیم می کند. شمای چند ضلعی بای پلات نمایش داده شده در شکل (۲) به شناسایی ارقام برخوردار از بالاترین ارزش‌ها برای یک یا چند صفت کمک می‌کند. جالب توجه است که صفات خصوصیات درصد باروری دانه، تعداد دانه کل، طول خوشه و تعداد دانه پر در یک بخش مشابه قرار دارند و از بقیه بای پلات توسط دو خط عمود جدا شده‌اند و ارقام رأس گوهر و خزر در این بخش هستند در نتیجه این ارقام بیشترین یا تقریبا بیشترین مقادیر برای این صفات را دارا هستند. ارقام کادوس، صالح، رش و درفک در رتبه‌های بعدی پس از گوهر و خزر واقع شده‌اند. لاین رأس ۲-۱۸۴۳۷ به عنوان بخش ۳ می‌توانید نامید و صفت جذب روی در این بخش واقع شده است؛ رقم ۲-۱۸۴۳۷ از بیشترین جذب روی برخوردار است. لاین ۲-۱۸۴۳۰ و ارقام اهلمی طارم، قدسی وحسنی در هیچ یک از صفات مورد مطالعه برتر نبودند. رقم هاشمی از بیشترین ارتفاع بوته برخوردار است.

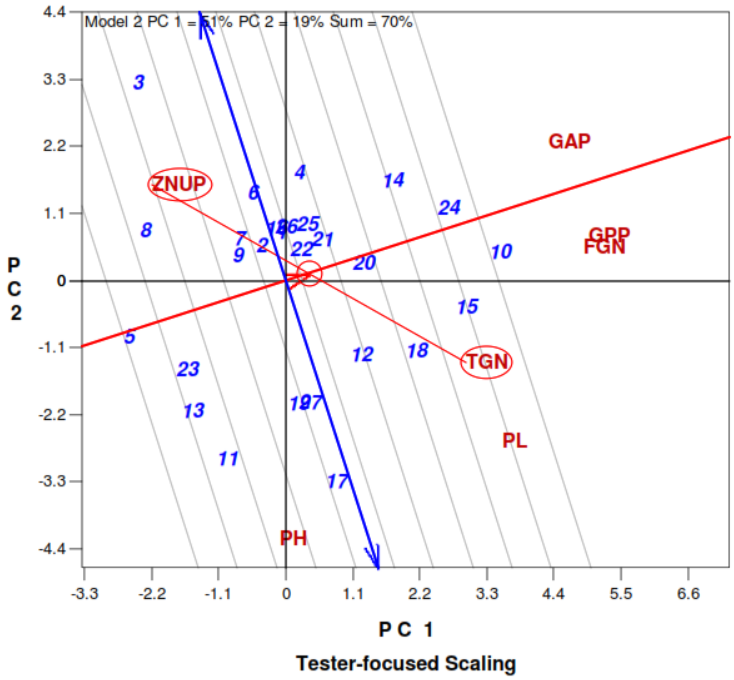
ارزیابی ارقام از لحاظ دو صفت

ژنوتیپ‌ها را می‌توان به طور همزمان از نظر دو صفت ارزیابی کرد. این کار با اتصال دو صفت و پیدا کردن نقطه میانه آن‌ها در بای پلات انجام می‌شود که در شکل (۳) با دایره کوچک با یک پیکان به آن اشاره شده است و از آن به عنوان صفت مجازی برای مطالعه

استفاده می‌شود (Yan and Kang, 2003). با توجه به روابط موجود در بای پلات ۱ و اهمیت بیشتر صفت وزن هزار دانه و همبستگی منفی بین صفت وزن هزار دانه و جذب روی این دو در بای پلات حفظ شدند و ارزیابی ارقام بر اساس این دو صفت انجام گرفت. بای پلات شکل (۳) امکان بررسی و رتبه‌بندی ارقام را بر اساس ترکیب صفات وزن هزار دانه و جذب روی به صورت یک معیار منفرد را فراهم می‌کند. با توجه به شکل (۳) ، برترین ارقام شناسایی شدند که فهرست کامل رتبه آن‌ها بر اساس ترکیب این دو شاخص در جدول (۶) ارایه شده است.



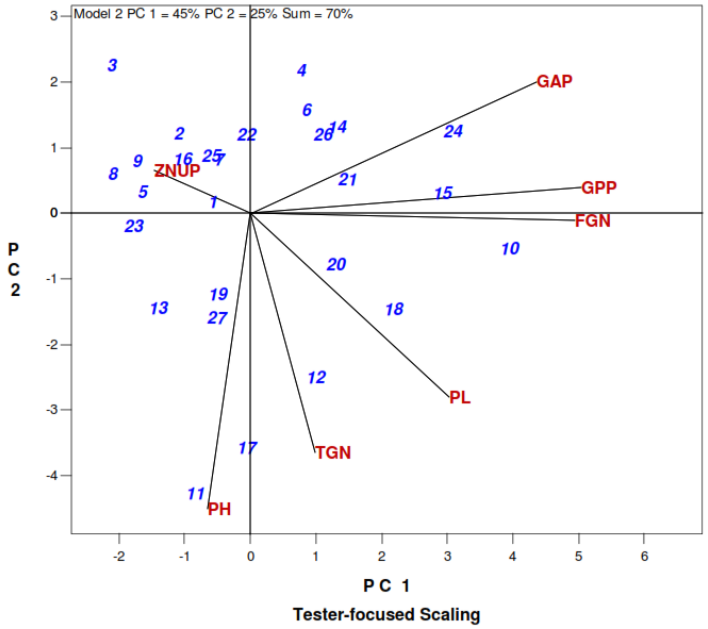
شکل ۲- شمای چند ضلعی بای پلات ژنوتیپ× صفت (TGN، FGN، GPP، PL، GAP، PH و ZnUp به ترتیب عبارتند از وزن هزار دانه، تعداد دانه پر،تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، باروری دانه، ارتفاع بوته و میزان جذب روی)



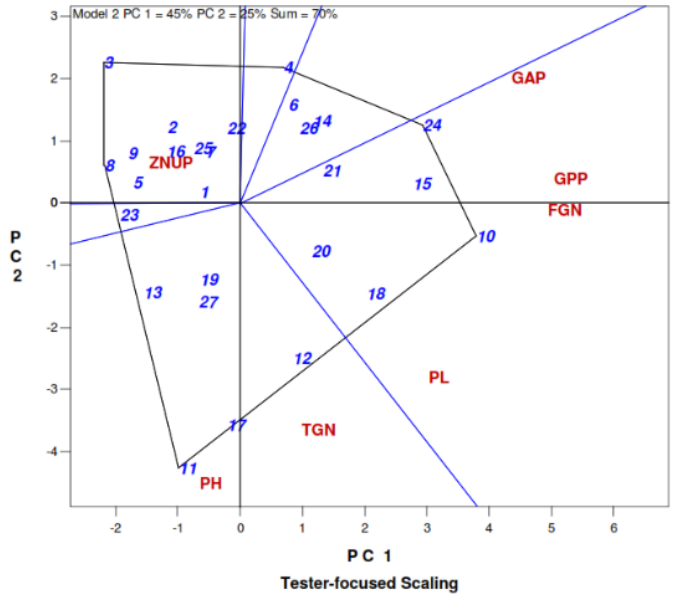
شکل ۳- رتبه‌بندی ارقام بر اساس دو صفت وزن هزار دانه و جذب روی (TGN، FGN، GPP، PL، GAP، PH و ZnUp به ترتیب عبارتند از وزن هزار دانه، تعداد دانه پر،تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، باروری دانه، ارتفاع بوته و میزان جذب روی)

جدول ۶- رتبه‌بندی ارقام براساس ترکیب دو صفت وزن هزار دانه و جذب روی

رتبه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
رقم	۱۰	۲۴	۱۵	۱۴	۱۸	۲۰	۱۲	۲۱	۴
رتبه	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
رقم	۲۵	۲۲	۲۶	۱	۱۶	۶	۲۷	۱۷	۲
رتبه	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
رقم	۱۹	۷	۹	۳	۱۱	۸	۲۳	۱۳	۵



شکل ۴- شمای برداری بای پلات ژنوتیپ × صفت که روابط متقابل میان صفات را نشان می‌دهد (TGN، FGN، GPP، PL، GAP، PH و ZnUp به ترتیب عبارتند از وزن هزار دانه، تعداد دانه پر،تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، باروری دانه، ارتفاع بوته و میزان جذب روی)



شکل ۵- نمودار چند ضلعی بای پلات برای شناسایی محیط‌های بزرگ و ژنوتیپ‌های برتر برنج (TGN، FGN، GPP، PL، GAP، PH و ZnUp به ترتیب عبارتند از وزن هزار دانه، تعداد دانه پر،تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، باروری دانه، ارتفاع بوته و میزان جذب روی)

میزان جذب روی سطح ۲ (روی در حد کفایت)

شکل (۴) شمای برداری بای پلات GGE است که روابط متقابل میان صفات را نمایش می‌دهد. در این بای پلات ارقام نمره‌های اولین مؤلفه اصلی (PC_1) در محور افقی یا محور X و نمره‌های دومین مؤلفه اصلی (PC_2) در محور عمودی یا محور Y قرار گرفتند. درصد توجیه بای پلات به وسیله هر محور (PC_1=%45,

(PC_2=%25) در گوشه های بالای سمت چپ بای پلات نشان داده شده است.به این ترتیب بای پلات ۷۰٪ از تغییرات کل را توجیه می‌کند. در این بای پلات تمامی صفات به غیر از صفت جذب روی بلند بوده که بیانگر توانایی متمایز بالای صفات می‌باشد اما صفت جذب روی از توانایی متمایز کمی برای تشخیص تفاوت‌ها در ارقام برخوردار است. با توجه به زاویه بین بردارهای صفات مختلف در بای پلات می‌توان این‌گونه استنباط نمود که همبستگی قوی و مثبتی میان صفات تعداد دانه در خوشه و تعداد دانه پر مشاهده می‌شود و این صفات ارتباط نزدیکی با طول خوشه و درصد باروری دانه دارند. علی رغم اینکه ۴ صفت مذکور ارتباط ضعیفی با وزن هزار دانه نشان می‌دهند، اما این همبستگی به صورت مثبت می‌باشد از آن جهت که زاویه بین بردارهای صفات مذکور از نوع حاده می‌باشد. با مشاهده زاویه منفرد بین صفت جذب روی با صفات درصد باروری دانه، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه، طول خوشه و تعداد دانه در خوشه می توان به این نتیجه رسید که ارتباط بین آن‌ها از نوع منفی است. جالب توجه است که هفت بردار به خوبی با کل ماتریس همبستگی هماهنگ است (جدول ۷).

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در سطح دوم میزان جذب روی

	TGN	FGN	GPP	PL	GAP	pH	Zn UP
TGN	۱	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۰۰۶	۰/۴۵	۰/۲۵
FGN		۱	۰/۹۵	۰/۶۱	۰/۸۱	۰/۶۲	-۰/۱۶
GPP			۱	۰/۵۶	۰/۸۹	-۰/۱۷	-۰/۱۹
PL				1	۰/۱۲	۰/۳۶	-۰/۱۰
GAP					۱	-۰/۳۹	-۰/۱۷
pH						۱	۰/۶۰
Zn UP							۱

TGN، FGN، GPP، PL، GAP، PH و ZnUp به ترتیب عبارتند از وزن هزار دانه، تعداد دانه پر،تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، باروری دانه، ارتفاع بوته و میزان جذب روی

بررسی برتری ارقام مورد مطالعه از لحاظ یک یا چند صفت در سطح دوم میزان جذب روی

برای شناسایی محیط‌های بزرگ و ژنوتیپ‌های برتر، بای‌پلات، با استفاده از میانگین GGE نمودار چند ضلعی دو ساله عملکرد دانه در سه منطقه رسم شد. در این شکل، ژنوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله را از مبدأ بای پلات دارند، توسط خطوط مستقیمی به یکدیگر وصل شده و یک چندضلعی حاصل می‌شود. سپس از مبدأ مختصات، خطوطی عمود بر اضلاع این چندضلعی رسم شده و محیط‌های بزرگ مشخص می‌شوند. ژنوتیپ‌های واقع در رأس چندضلعی هر محیط، بر اساس نحوه قرارگرفتن ژنوتیپ‌ها، ارقام برتر آن محیط محسوب می‌شوند (Yan *et al.*, 2000). شمای چند ضلعی بای پلات (شامل ارقام راس ۱۰گوهر، خزر، ۱-۱۸۴۳۷، ۲-۱۸۴۳۷، ۲۲-۱۸۴۳۰و حسنی) در شکل (۵) نمایش داده شده برای شناسایی ارقام برخوردار از بالاترین ارزش‌های برای یک یا چند صفت روش موثری است. صفات تعداد دانه در خوشه، درصد باروری دانه، تعداددانه پر و طول خوشه در بخش مشابه قرار گرفته اند که توسط ۲ خط عمود از سایر بخش‌های بای پلات جدا شده است. این بخش را با توجه به وجود رقم راس گوهر، بخش ۱۰ می‌توان نام گذاری کرد و رقم مذکور بیشترین مقدار یا تقریبا بیشترین مقادیر این صفات به ویژه صفات تعداد دانه پر و طول خوشه برخوردار است. در بخش ۱۰ ارقام کادوس، صالح، گیلانه و درفک واقع شده اند. رقم خزر علی رغم اینکه در بخش دیگر واقع شده است اما به دلیل نزدیکی بیش از حد خود به بخش ۱۰ می توان در این محدوده قرار داد و می‌توان اینگونه بیان نمود که رقم خزر نیز از مقادیر بالای صفات بخش ۱۰ برخوردار است. به ویژه صفت درصد باروری دانه. ارقام ۱-۱۸۴۳۷، ۱- ۱۸۴۳۶، رش و لاین۲۳ در هیچ یک از صفات مورد مطالعه برتری نداشتند.

در بخش ۳ و ۸ صفت جذب روی واقع شده است در نتیجه می‌توان این‌گونه بیان نمود که لاین‌های ۲-۱۸۴۳۷ و ۲۲-۱۸۴۳۰ و سایر ارقام موجود بخش ۳ از جذب روی بالایی برخوردار هستند که رتبه اول و دوم برای این صفت به ترتیب مرتبط به لاین‌های ۲-۱۸۴۳۷ و ۲۲-۱۸۴۳۰می‌باشد. صفات ارتفاع بوته و وزن هزار دانه در بخش ۱۱ واقع شده‌اند. رقم حسنی بیشترین مقدار ارتفاع بوته و رقم دیلمانی بیشترین مقدار وزن هزار دانه را دارا هستند. رقم هاشمی که تقریبا در حد وسط حسنی و دیلمانی واقع شده است، از لحاظ ارتفاع بلند تر از دیلمانی و از لحاظ وزن هزار دانه ارزش پایینتر از حسنی و ارزش بالاتر از دیلمانی را دارد.

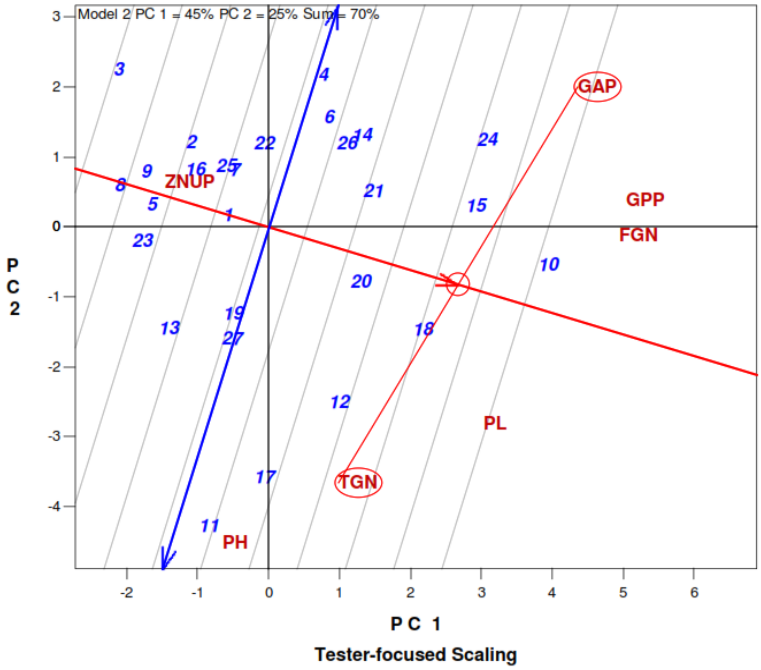
ارزیابی ارقام از لحاظ ۲ صفت در سطح دوم میزان جذب روی

با توجه به روابط موجود بین بردارهای صفات در بای پلات ۵ و مشاهده همبستگی بسیار ضعیف نزدیک به صفر دو صفت وزن هزار دانه و درصد باروری دانه و اهمیت بالای این دو صفت گزینش شده و رتبه‌بندی ارقام بر اساس آن‌ها صورت گرفت. صفت جذب روی بر خلاف حالت قبل که در سطح اول میزان جذب روی انتخاب شده در سطح دوم میزان جذب روی به دلیل توانایی اندک این صفت در تمایز ژنوتیپ‌ها از یکدیگر به دلیل آنکه از طول بردار کوتاهی برخوردار است انتخاب این صفت برای رتبه بندی ارقام منطقی به نظر نمی رسد. با اتصال دو صفت وزن هزار دانه و درصد باروری دانه با یکدیگر بررسی و رتبه بندی ارقام بر اساس دو صفت و به صورت یک معیار منفرد امکان پذیر می شود.

فهرست کامل از رتبه بندی ارقام بر اساس معیار منفرد در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول ۸- رتبه بندی ارقام بر اساس ترکیب دو صفت وزن هزار دانه و درصد باروری دانه در سطح دوم میزان جذب روی

رتبه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
رقم	۱۰	۱۵	۲۴	۱۸	۱۲	۲۰	۲۱	۱۷	۱۴
رتبه	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
رقم	۲۶	۱۱	۶	۴	۲۷	۱۹	۲۲	۱	۷
رتبه	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
رقم	۲۵	۱۳	۱۶	۲	۵	۲۳	۹	۸	۳



شکل ۶- رتبه بندی ارقام بر اساس دو صفت وزن هزار دانه و درصد باروری دانه TGN، FGN، GPP، PL، GAP، PH و ZnUp به ترتیب عبارتند از وزن هزار دانه، تعداد دانه پر،تعداد دانه در خوشه، طول خوشه، باروری دانه، ارتفاع بوته و میزان جذب روی)

نتیجه‌گیری

اجرای پروژه‌هایی پژوهشی بر مبنای بهبود کمی (افزایش عملکرد) و تغذیه‌ای برنج (افزایش میزان روی و در نتیجه پروتئین در دانه) در اراضی شالیزاری براساس یافتن ارقام مقاوم به کمبود روی یا ارقامی که در شرایط کمبود، راندمان جذب بیشتر روی را از خود نشان دهند، بسیار ضروری و موثر خواهد بود. کمبود عنصر روی پس از کمبود نیتروژن و فسفر بیشترین تاثیر منفی را روی رشد و نمو و عملکرد گیاه برنج دارد. نتایج نشان داد که اثر میزان روی موجود در خاک بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده به استثنای طول خوشه، درصد باروری دانه، شاخص برداشت، طول و عرض برگ پرچم معنی¬دار بود و آن‌ها را تحت تاثیر قرار داد. بین ارقام نیز از جنبه کلیه صفات، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. اثر متقابل رقم × میزان روی موجود در خاک نیز برای همه صفات به استثنای طول و عرض برگ پرچم معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن این اثر متقابل بیانگر متفاوت بودن واکنش ارقام مورد بررسی به میزان مختلف روی موجود در خاک بود. پایین‌ترین و بالاترین مقدار جذب روی در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۲- ۱۸۴۳۰و رقم کادوس تعلق دارد. همچنین سه رقمی که به ترتیب بالاترین میزان افزایش در این صفات را در اثر کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از رقم دیلمانی، قدسی و رش. این در حالی است که نتایج مقایسه میانگین نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین جذب روی در تیمار کاربرد سولفات روی به ترتیب به لاین ۲- ۱۸۴۳۲و ۱-۱۸۴۳۱ تعلق داشته و سه رقم یا لاینی که به ترتیب بالاترین جذب روی را در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به خود اختصاص داده اند عبارتند از ارقام لاین‌های ۲-۱۸۴۳۲، ۲۲-۱۸۴۳۰و ارقام اهلمی طارم. از آنجایی‌که محتوای روی در اندام‌های گیاهی (جذب روی) به تنهایی در انتخاب رقم (ارقام) و لاین (لاین‌های) مناسب برای کشت در شرایط کمبود روی نمی‌تواند تاثیر گذار باشد با استفاده از روش تجزیه جی جی بای پلات و دخالت بقیه خصوصیات گیاهی به گزینش رقم (ارقام) و لاین (لاین‌های) مناسب اهتمام ورزیده شده است. نتایج مربوط به تجزیه رگرسیون مکانی نشان داد که در همه ۲ سطح روی (عدم مصرف و کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی) میزان جذب روی ارقام گوهر، کادوس و خزر رتبه‌های ۱ تا ۳ را کسب

نمودند. ارقام و لاین‌های صالح، دیلمانی، گیلانه و SA1 نیز در هر دو سطح از رتبه‌های بالا برخوردار بودند. بنابراین برای آزمایش‌های آینده می‌توان از این ارقام به خصوص گیلانه که رقمی در حال توسعه است به عنوان ارقام یا لاین‌های مناسب برای رشد در شرایط کمبود روی بهره جست.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Amacher, M. C. (1996). Micronutrients. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, 739-768.

Bouis, H.E. and Welch, R.M.(2010). Biofortification—a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. *Crop science*, *50*, pp.S-20.

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?. *Plant and Soil*, *302*(1-2), pp.1-17.

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

Dobermann, A. (2000). Rice: Nutrient disorders & nutrient management. Int. Rice Res. Inst..

Guilani, G., Siyadat, S.A., and Fathi, G. (2003). Effect of seedling age and density on yield and yield component of three rice cultivar at Khozestan conditions. *Final report of Rice research institute of Iran*.

Hazra, G.C., Saha, B., Saha, S., Dasgupta, S., Adhikari, B. and Mandal, B. (2015). Screening of rice cultivars for their zinc biofortification potential in Inceptisols. *J. Indian Soc. Soil Sci*, *63*(3), pp.347-357.

Impa, S.M., Morete, M.J., Ismail, A.M., Schulin, R. and Johnson-Beebout, S.E. (2013). Zn uptake, translocation and grain Zn loading in rice (Oryza sativa L.) genotypes selected for Zn deficiency tolerance and high grain Zn. *Journal of experimental botany*, *64*(10), pp.2739-2751.

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.

Khan, P., Memon, M.Y., Imtiaz, M., Depar, N., Aslam, M., Memon, M.S. and Shah, J.A. (2012). Determining the zinc requirements of rice genotype Sarshar evolved at NIA, Tandojam. *Sarhad Journal of Agriculture*, *28*(1), pp.1-7.

Khan, R., Gurmani, A.R., Khan, M.S. and Gurmani, A.H. (2007). Effect of zinc application on rice yield under wheat rice system. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *10*(2), pp.235-239.

Mahmoud Soltani, S., Allagholipoor, M., Shakoori Katigari, M., Paykan, M., Shabanzadeh, M., Attar, A., Poorsafar Tabalvandi, A. and Keshtekar, F. (2020). Effect of Soil and Foliar Application of Zinc Sulfate Fertilizer on Zn and Protein Content of Grain, and Zn Content of Rice Tissues at Different Growth Stages. *Iranian Journal of Soil Research* 43 (3):311-330.

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

Mahmoudsoltani, S. (2020). Zn biofortification, grain protein content, and zinc and phosphorus content of rice tissues at different growth stages affected by zinc and phosphorus foliar application. *Iran J Soil Water Res* 51 (8):2065-2083.

MahmoudSoltani, S., Allahgholipoor,m.,Shakouri Katigari, m., and Poursafar Tabalvandani, A. (2020). Effect of Basal and Foliar Application of Zinc Sulphate Fertilizer on Zinc Uptake, Yield and Yield Components of Rice (Hashemi Cultivar). *J Iranian Journal of Soil and Water Research*: 51 (4):1013-1026.

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

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.

Malakooti, M. J. and Tehrani, H. (1999). Sustainable agriculture and high yield with fertilizer consume in Iran. *Soil and water research institute of Iran*. Tehran. Iran.

Miller, B.C., Hill, J.E. and Roberts, S.R. (1991). Plant population effects on growth and yield in water-seeded rice. *Agronomy Journal*, *83*(2), pp.291-297.

Mohadesi, A., Allagholipoor, M., Bahrami, M., and Arefi, H. (2006). Introducing new rice variety, Shiroodi. *The 9th Congress of Agronomy And Breeding*. Trhran, Iran.

Naher, T., Sarkar, M.R., Kabir, A.H., Haider, S.A. and Paul, N.K. (2014). Screening of Zn-efficient rice through hydroponic culture. *Plant Environ Dev*, *3*(2), pp.14-18.

Rahman, K.M., Chowdhury, M.A.K., Sharmeen, F., Sarkar, A., Hye, M.A. and Biswas, G.C. (2011). Effect of zinc and phosphorus on yield of Oryza sativa (cv. br-11). *Bangladesh Res. Pub. J*, *5*(4), pp.315-358.

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.

SES (Standard Evaluation System for Rice). 2002.

semidwarf rice. *Agronomy Journal*, *83*(5), pp.926-928.

Uphoff, N. (2005). The development of the System of Rice Intensification. *Participatory research and development for sustainable agriculture and rural development*, *3*, pp.119-125.

Yan, W. and Kang, M.S. (2002). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC press.

Yan, W. (2014). Crop variety trials: Data management and analysis. John Wiley & Sons.

Yin, H., Gao, X., Stomph, T., Li, L., Zhang, F. and Zou, C. (2016). Zinc concentration in rice (Oryza sativa L.) grains and allocation in plants as affected by different zinc fertilization strategies. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *47*(6), pp.761-768.

Yoshida, S. and Benta, W.H. (1983). Potential productivity of field crops under different environments. *IRRI, Los Banos, Philippines*.

Yousefi, M. and Zandi, P. (2012). Effect of foliar application of zinc and manganese on yield of pumpkin (Cucurbita pepo L.) under two irrigation patterns. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Series Agronomy*, *15*(4), pp.1-9.

Zou, C., Gao, X., Shi, R., Fan, X. and Zhang, F. (2008). Micronutrient deficiencies in crop production in China. In *Micronutrient deficiencies in global crop production* (pp. 127-148). Springer, Dordrecht.

International Rice Research Institute (IRRI). 56pages.

Slaton, N.A., Norman, R.J. and Wilson Jr, C.E. (2005). Effect of Zinc Source and Application Time on Zinc Uptake and Grain Yield of Flood-Irrigated Rice. *Agronomy Journal*, *97*(1), pp.272-278.

Slaton, N.A., Wilson Jr, C.E., Ntamatungiro, S., Norman, R.J. and Boothe, D.L. (2000). Zinc seed treatments for rice. *Zinc seed treatments for ric*,. (476), pp.304-312.

Srivastava, P.C., Bhatt, M., Pachauri, S.P. and Tyagi, A.K. (2014). Effect of zinc application methods on apparent utilization efficiency of zinc and phosphorus fertilizers under basmati rice–wheat rotation. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *60*(1), pp.33-48.

Stomph, T.J., Hoebe, N., Spaans, E. and Van der Putten, P.E.L. (2011). October. The relative contribution of post-flowering uptake of zinc to rice grain zinc density. In *3rd International Zinc Symposium* (pp. 10-14).

Swamy, B.M., Rahman, M.A., Inabangan-Asilo, M.A., Amparado, A., Manito, C., Chadha-Mohanty, P., Reinke, R. and Slamet-Loedin, I.H. (2016). Advances in breeding for high grain zinc in rice. *Rice*, *9*(1), pp.1-16.

Teale, W.D., Paponov, I.A. and Palme, K. (2006). Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. *Nature reviews Molecular cell biology*, *7*(11), pp.847-859.

Turner, F.T. and Jund, M.F. (1991). Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for