

تأثیر سولفات روی در زی‌فزونی و تغییرات ریخت‌شناختی ارقام بهاره گندم

حسینیه محمدی دی‌ج¹، فریبرز شکاری^{2*}

تاریخ دریافت: 93/12/08 تاریخ پذیرش: 94/10/29

1. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

2. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shekari_fb@yahoo.com

چکیده

امروزه افزایش درصد روی دانه از راه زی‌فزونی¹، به یکی از مهم‌ترین راهکارها جهت افزایش میزان این عنصر در دانه تبدیل شده است. برای بررسی تأثیر روی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و ویژگی‌های کمی و کیفی عملکرد گندم، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها عبارت بودند از پنج رقم گندم بهاره، شامل ارقام دریا، شیرودی، آرتا، تجن و N-80-19 (به‌عنوان فاکتور اول) و پنج سطح کودی شامل مقادیر صفر، 25 کیلوگرم در هکتار کاربرد خاکی سولفات روی ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) در زمان کاشت، افشانه‌کردن 0/5 درصد سولفات روی به‌ترتیب در مراحل شکمی، شکمی و شیری دانه، و شیری و خمیری دانه (به‌عنوان فاکتور دوم). ارزیابی داده‌ها نشان داد که کاربرد خاکی سولفات روی توانست وزن خشک گیاهچه‌ها، درصد سبز گیاهچه‌ها، سطح برگ بوته، وزن خشک برگ، ارتفاع بوته، درازای سنبله، شمار پنجه‌ها را نسبت به شرایط عدم کاربرد خاکی این عنصر به‌طور معناداری (در سطح احتمال یک درصد) افزایش دهد. در مورد عملکرد دانه، کاربرد خاکی سولفات روی در مقایسه با سایر تیمارها موجب افزایش معنادار (در سطح احتمال یک درصد) در این مؤلفه گردید. این در حالی بود که تیمارهای متعلق به افشانه کردن روی تفاوت معناداری را در این راستا با یکدیگر نشان ندادند. رقم‌های شیرودی و N-80-19 به‌ترتیب با 1732/7 و 1984/8 کیلوگرم در هکتار کمترین و ارقام تجن، دریا و آرتا به‌ترتیب با مقادیر 2491/4، 2434/4 و 2386/2 کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه را حاصل نمودند. افشانه کردن سولفات روی در تیمار شیری-خمیری منجر به بیشترین میزان این عنصر در رقم دریا گردید. به‌عنوان نتیجه نهایی می‌توان ادعان داشت چنانچه هدف افزایش عملکرد دانه‌ای گندم باشد کاربرد سولفات روی در مراحل آغازین رشد سودمندتر از مراحل نهایی خواهد بود. از سوی دیگر، زی‌فزونی روی بر خلاف عملکرد، بیش‌تر از کاربرد این عنصر در مراحل پایانی رشد متأثر می‌گردد. از این‌رو، کاربرد خاکی و برگی سولفات روی خواهد توانست موجب افزایش توأم روی دانه و عملکرد کل شود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، ارقام گندم، پروتئین دانه، روی دانه و زی‌فزونی.

The Effect of Zinc Sulfate on Biofortification and Morphological Changes in Spring Wheat

H Mohamadi Dizaj¹, F Shekari^{2*}

Received: 27 February 2015 Accepted: 19 January 2016

1. M.Sc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agric., University of Maragheh, Iran

2. Assoc. Prof. Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agric., University of Maragheh, Iran

**Corresponding Author, Email: shekari_fb@yahoo.com

Abstract

Nowadays, biofortification is regarded as one of the most important ways to increase zinc in grain. To evaluate the effect of zinc on morphophysiological features and qualitative and quantitative characteristics of the wheat yield, a field research was carried out based on the factorial randomized complete block design with three replications. Five spring wheat cultivars, Darya, Shiroody, Arta, Tajan and N-80-19 were considered as the first factor. The second factor included five levels of fertilizers: use of zinc in the soil at the planting time with the concentrations of 0 and 25 kg ha⁻¹, spraying 0.5 percentage of zinc sulfate in booting stage, booting and milky stages, and in milky and dough stages. Statistical analyses showed that as compared to non-application of zinc sulfate in the same condition, soil application of zinc sulfate could significantly ($P \leq 0.01$) increase the seedlings dry weight, seedlings emergence percentage, leaf area in plants, leaf dry weight, plants height, spikes height, and the number of tillers. As compared to other treatments, soil zinc sulfate application significantly ($P \leq 0.01$) increased the amount of grain yield. However, among the treatments that zinc sulfate sprayed on them, there was not any significant difference as far as this character was concerned. Shiroodi and N-80-19 cultivars, with the amount of 1732.7 and 1984.8 kg ha⁻¹, respectively, and also Tajan, Daria and Arta cultivars, with the amount of 2491.4, 2434.4 and 2386.2 kg ha⁻¹, respectively, had the lowest and highest grain yield. Spraying zinc sulfate in milky-dough stage showed the highest level of this element (Zn) in the Darya cultivar. According to the results of this study, it can be concluded that higher application of zinc sulfate in the early stages of plant growth can be more effective in increasing seed yield. On the other hand, despite of its effect on yield, zinc biofortification was more effective when it was applied at the final stages of plant growth. Therefore, soil and foliar applications of zinc sulfate simultaneously seem helpful to increase zinc content of the seed and the total yield.

Keywords: Biofortification, Grain Protein, Grain Zinc Content, Wheat cultivars and Yield Components.

باینکه ارتباط رشد گندم با عناصر غذایی تحت تأثیر عوامل متعددی مانند وضعیت خاک، آب و هوا، پتانسیل عملکرد و روش کشت قرار دارد (فاجریا و همکاران 1991) لیکن، در بیش تر موارد حساسیت گندم نسبت به

مقدمه

گیاهان برای رشد و عملکرد بهینه، به مقادیر مشخصی از مواد غذایی نیاز داشته و تولید پایدار آن‌ها تحت شرایطی خواهد بود که غلظت تمام عناصر مورد نیاز در حد بهینه و متعادل باشد (ملکوتی 1380).

میزان روی در دانه غلات به‌صورت ذاتی کم است (چاکماک 2008). با توجه به اینکه میزان روی موجود در دانه گندم در بخش آندوسپرم، در پایین‌ترین حد خود قرار دارد، مشکل فوق‌بیش‌ازپیش اهمیت خواهد یافت (اوزتورک و همکاران 2006).

زی‌فزونی روی¹، آسان‌ترین و مطمئن‌ترین راه برای افزایش روی موجود در دانه است (سلاتون و همکاران 2001). منظور از زی‌فزونی، افزایش میزان این عنصر در دانه با بهره‌گیری از راهبردهای زیست‌شناختی بوده که به دو شیوه به‌زراعی و به‌نژادی قابل‌اعمال است (چاکماک 2008). امروزه، روش نخست، به اشکال گوناگونی به‌کار می‌رود که دو شکل اصلی آن کوددهی و افشانه‌کردن² این عنصر بر سطح برگ‌هاست. در گندم، آزمایش‌های انجام‌یافته در این زمینه نشان می‌دهند که کاربرد کودهای برخوردار از روی، گذشته از افزایش توانایی رشد و تولید گیاه، موجب افزایش غلظت روی موجود در دانه نیز می‌گردد (پیک و همکاران 2008).

یکی از ترکیبات مؤثر برای رفع کمبود روی، بهره‌گیری از سولفات روی است (شاختمن و بارکر 1999). درباره شیوه به‌کارگیری این کود، نتایج به‌دست‌آمده از تناقضات عمده‌ای برخوردار است (چاکماک 2008). به‌نظر می‌رسد تأثیر چگونگی کوددهی بر بهره‌وری از کود و افزایش غلظت روی دانه، بسته به ارقام و یا نوع کود به‌کاررفته، می‌تواند متفاوت باشد. نشان داده شده است که هر چه کاربرد این عنصر در مراحل پایانی رشد گندم رخ دهد، به همان نسبت تأثیر بیشتری را بر افزایش غلظت روی دانه خواهد داشت (سابراوات و چاند 1999). برعکس، کوددهی در مراحل نخست بیش‌تر بر رشد و عملکرد گیاه مؤثر است (چاکماک و همکاران 2010). بااین‌همه، نتایج همسانی از پژوهش‌های متعدد موجود نیست (چاکماک 2008).

کمبود عناصر به‌ویژه روی امری رایج به‌شمار می‌آید (شهید و همکاران 2010).

روی، عنصر معدنی کم‌مصرف ضروری برای بیش‌تر سیستم‌های زنده بوده و یکی از وظایف فیزیولوژیک آن شرکت در بیوسنتز پروتئین و دیگر فرآیندهای متابولیک هست (چاکماک و همکاران 2010). در گیاهان روی، ریزمغذی ضروری برای کارکرد غشاها و سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد و مهاجم است (چاکماک 2000). به‌طورمعمول، کمبود روی در گیاهانی دیده می‌شود که خاک آن‌ها از نظر مواد آلی فقیر بوده و مقدار CaCO_3 موجود در این خاک‌ها نیز بالا باشد (فاجریا و همکاران 1991). کمبود روی و پیامدهای خطرناک ناشی از آن، در بیش‌تر خاک‌های ایران دیده می‌شود (سالاردینی 1387). از عمده عوامل فقر روی در خاک‌های ایران، می‌توان به مواردی مانند کمبود کانی‌های برخوردار از روی، وجود pH قلیایی، و فور کربنات‌های کلسیم، کمبود مواد آلی در خاک و رقابت با نخایر فسفر و نیتروژن خاک اشاره نمود (سالاردینی 1371). براون و همکاران (1993) با مرور بررسی‌های سایر پژوهشگران اعلام داشتند که مصرف روی در گندم موجب افزایش ارتفاع گیاه، شمار پنجه‌ها و سرعت پنجه‌زنی شده و از سویی، سرعت رشد گیاه را تسریع می‌نماید که این امر نیز موجب زودرسی گیاه خواهد گشت. این در حالی است که بر اثر کمبود روی، به‌دلیل وجود پنجه‌های نابارور، مواد فتوسنتزی ساقه اصلی تخلیه گردیده و بر پایه معیار درجه-روز، دوره رشد رویشی افزایش یافته و از عملکرد دانه در واحد سطح کاسته می‌شود. خان و همکاران (2008) و اوزتورک و همکاران (2006) اظهار داشتند که کاربرد کود روی در افزایش ماده خشک گندم بسیار مؤثر است.

در ایران، نزدیک به 50 درصد از جیره غذایی مردم کشور از گندم و فراورده‌های حاصل از آن تشکیل می‌شود که مقدار یادشده در مناطق روستایی از این نیز بیش‌تر است (فائو 2003). این در حالی است که

¹- Zinc biofortification

²-Spraying

ایجاد و کاشت به صورت دستی انجام شد. بذور گندم در واحدهای آزمایشی در شش ردیف کشت، با فاصله 20 سانتی متر از یکدیگر در جهت شمالی - جنوبی کشت شدند. پنج رقم گندم بهاره آبی شامل دریا، شیرودی، آرتا، تجن و N-80-19 و پنج سطح کودی در مقادیر صفر، 25 کیلوگرم در هکتار (کاربرد سولفات روی $(ZnSO_4 \cdot 7H_2O)$ در خاک در زمان کاشت)، افشانه کردن 0/5 درصد سولفات روی به ترتیب در مراحل شکمی، شکمی و شیریه دانه، و شیریه و خمیری دانه بکار برده شد. پس از تهیه زمین، کود نیتروژن و فسفر مورد نیاز بر پایه آزمون خاک، به ترتیب به میزان 100 و 43 کیلوگرم در هکتار به کار رفت. کاربرد خاکی سولفات روی با درآمیختن کود با خاک کرت‌های مربوطه، در مرحله‌ی پیش از کاشت انجام گردید. به کارگیری سولفات روی در بقیه تیمارها به صورت افشانه کردن 0/5 درصد این ترکیب در مراحل پیش‌گفته، اعمال شد. آبیاری بسته به شرایط محیطی و نرم منطقه به صورت مرتب انجام گرفت. صفات رشدی و ریخت‌شناختی مورد ارزیابی عبارت بودند از ارتفاع بوته (از محل طوقه تا ابتدای ریشک)، درازای سنبله اصلی (بدون در نظر گرفتن درازای ریشک)، شمار پنجه‌های بوته، زیست‌توده³ (پس از حذف اثر حاشیه به مساحت یک مترمربع بوته‌های بخش رقابت‌کننده برداشت و به مدت پنج روز آفتاب‌خشک گردید و متعاقباً توزین شد)، عملکرد دانه (بوته‌های برداشت‌شده از یک مترمربع، خرمن‌کوبی گردیده و وزن دانه‌ها به دست آمد)، شاخص برداشت از راه رابطه زیر برآورد گردید:

$$100 \times \text{عملکرد زیستی} / \text{عملکرد اقتصادی} = \text{شاخص برداشت (شکاری و همکاران 1389)}.$$

وزن خشک برگ (در مرحله 7 برگی با قرار دادن برگ‌های 10 بوته تصادفی از هر کرت در آون 70 درجه‌ی سلسیوس به مدت 48 ساعت به دست آمد)، وزن

در پژوهش حاضر اثر مقادیر، روش‌ها و زمان‌های متفاوت کاربرد سولفات روی بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی، زی‌فزونی روی دانه گندم و تغییرات مقادیر پروتئین و همچنین، پاسخ ارقام گوناگون این گیاه به تیمارهای مذکور مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار سال 1389 در کشتزار مرکز تحقیقات کشاورزی ملکان، واقع در کیلومتر 7 جاده‌ی ملکان - میاندوآب با ارتفاع 1285 متر از سطح دریا، طول جغرافیایی 46/4 درجه شرقی و عرض جغرافیایی 37/8 درجه شمالی و میانگین بارندگی سالیانه 350 میلی‌متر اجرا شد. خاک منطقه از نوع قلیایی با pH 8/2 بود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر اساس روش احیایی (1372) اندازه‌گیری شد (جدول 1).

جدول 1-الف - نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل

اجرای آزمایش در سال 89.

عمق (cm)	هدایت الکتریکی $dS m^{-1}$	pH	کربنات کلسیم معادل (%)	کربن آلی (%)	فسفر قابل جذب $(mg kg^{-1})$
0-30	0/82	8/04	14/75	1/53	13/16

جدول 1-ب - نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل

اجرای آزمایش در سال 89.

پتاسیم قابل جذب $(mg kg^{-1})$	آهن $(mg kg^{-1})$	منیزیم $(mg kg^{-1})$	روی $(mg kg^{-1})$	مس $(mg kg^{-1})$
230	2/28	5/40	0/96	1/72

آزمایش به صورت فاکتوریل، بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. سه بلوک شرقی-غربی به فاصله دو متر از هم، با کرت‌هایی به درازای پنج متر و پهنای دو متر آماده گردید. ردیف‌های کشت در کرت‌ها، توسط ردیف کار دستی

³ -Biomass

کاشت و پس از برداشت (جدول 2)، با بهره‌گیری از روش هضم تر توسط دستگاه جذب اتمی شیمادزو به انجام رسید (جان و لون 1980).

جدول 2 - غلظت روی بذور به‌کاررفته در
آزمون (mg kg^{-1}).

رقم	شیرودی	N.80.19	تجن	آرتا	دریا
غلظت روی	5/79	5/90	6/59	7/12	7/26

تحلیل آماری داده‌ها با کاربرد نرم‌افزارهای MSTATC و SPSS انجام و مقایسه میانگین‌های صفات موردبررسی توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 1 و 5 درصد انجام شد.

نتایج و بحث

در پژوهش کنونی برهم‌کنش کاربرد سولفات روی و ارقام بر وزن خشک برگ در سطح احتمال یک‌درصد معنادار گردید (جدول 3). در همین راستا، مقایسه میانگین‌ها آشکار ساخت که رقم دریا در کاربرد خاکی سولفات روی بالاترین و تیمار شاهد تمامی ارقام پایین‌ترین وزن خشک برگ را داشتند (شکل 1). با توجه به نتایج اولیه این پژوهش در ارتباط با سنجش وزن خشک گیاهچه‌ها (جدول 3)، و بالا بودن این صفت در رقم مزبور در مرحله پس از کاربرد خاکی سولفات روی، می‌توان افزایش وزن خشک برگ را به فزونی این صفت در مراحل نخستین رشد نسبت داد (شکل 2). از سوی دیگر، این مسئله را می‌توان به بالا بودن محتوی نسبی آب، به‌عنوان یکی از شاخصه‌های رشد گیاه، در رقم دریا نسبت داد (جدول 5). به‌علاوه، تجزیه واریانس داده‌ها آشکار ساخت که برهم‌کنش سولفات روی و ارقام، در سطح احتمال یک درصد مورد درصد سبز گیاهچه‌ها در مرحله سه‌برگی معنادار بوده است (جدول 3). بر پایه نتایج مقایسات میانگین، رقم دریا در کاربرد خاکی سولفات روی بیش‌ترین تیمارهای شاهد ارقام شیرودی و N-80-19 کمترین

خشک گیاهچه‌ها (در مرحله گیاهچه‌ای با قرار دادن 10 نمونه برداشت‌شده، در آون 70 درجه سلسیوس حاصل شد)، سطح برگ (با استفاده از دستگاه پلانی‌متر (Planimeter-Haff.317E Germany) در مرحله پیش از سنبله‌دهی از پنج بوته تصادفی تعیین گردید)، مقدار نسبی آب برگ (RWC) در ساعت هشت صبح پنج بوته تصادفی از هر واحد آزمایشی گزینش و بلافاصله وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس این نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در نور کم و دمای اتاق در آب دیونیزه غوطه‌ور شده و پس‌ازاین مدت وزن آماس نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت 48 ساعت در آون 75 درجه سلسیوس قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری گردید. مقدار نسبی آب برگ از راه رابطه ودرلی (1950) به‌صورت زیر برآورد گردید:

$$\%RWC = [(Wf - Wd) / (Wt - Wd)] \times 100$$

که در آن Wf وزن تازه برگ، Wt وزن آماس برگ و Wd وزن خشک برگ هست. نسبت سطح برگ، نسبت وزن برگ، وزن ویژه برگ به‌ترتیب با استفاده از روابط زیر به‌دست آمد:

$$LAR^4 = LA/W$$

$$LWR^5 = LW/W$$

$$SLW^6 = LW/LA$$

که در آن LA سطح برگ بر حسب میلی‌متر مربع، W برابر وزن برگ بر حسب میلی‌گرم، LW برابر وزن خشک برگ بود (شکاری و همکاران 1389).

شاخص کلروفیل برگ پس از پایان تیمارهای افشانه کردن، توسط دستگاه کلروفیل‌سنج (Spad- Minolta 502) اندازه‌گیری شد. درصد پروتئین بذور ارقام گندم در مرحله پس از برداشت توسط دستگاه پروتئین‌سنج (Zeltex- USA، مدل ZX50)، اندازه‌گیری شد. سنجش غلظت روی بذور در دو مرحله پیش از

⁴ Leaf area ratio

⁵ Leaf weight ratio

⁶ Specific leaf weight

روی از ریشه‌ها به ریزوسفر و افزایش توانایی گسیل روی از ریشه‌ها به شاخساره در شرایط کمبود روی باشد (چاکماک و همکاران 1996). خان و همکاران (2008) اظهار نمودند که کاربرد سولفات روی در گندم موجب افزایش شاخص سطح برگ گردیده که این افزایش تا نمایان شدن سنبله حفظ شد. افزایش شاخص سطح برگ در سایه‌انداز باعث افزایش میزان جذب نور و در نتیجه، افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌گردد که سرانجام منجر به افزایش عملکرد خواهد شد. عنصر روی در فعالیت آنزیم‌های دخیل در ساخت کلروفیل و پیرو آن، افزایش فتوسنتز شرکت داشته و تسریع در تشکیل برخی از هورمون‌های نموی همانند تریپتوفان (به‌عنوان پیش‌ماده اکسین‌ها)، از اعمال عنصر روی هست (فتحی 1378). برهم‌کنش سطوح سولفات روی و ارقام در مورد صفت نسبت سطح برگ و اثرات اصلی سطوح سولفات روی در مورد نسبت وزن برگ در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول 3). در مجموع، با توجه به نتایج آشکار گردید که مقادیر نسبت سطح برگ در تیمارهای به‌کارگیری سولفات روی کمتر از عدم کاربرد این عنصر بود. شایان‌ذکر است که این مورد در خصوص تمامی ارقام صدق می‌نمود (شکل 5). همانند این مسئله درباره نسبت وزن برگ نیز حاصل گردید (شکل 6). با توجه به اینکه نسبت سطح برگ بیان‌کننده نسبت بین سطح پهنک یا بافت‌های فتوسنتز کننده به کل بافت‌های تنفس‌کننده یا وزن گیاه بوده (زانگ و همکاران 2014) و نسبت وزن برگ نیز نشان‌دهنده پربریگی گیاه هست (کادام و همکاران 2015)، به‌نظر می‌رسد کاربرد سولفات روی باعث افزایش سرمایه‌گذاری گیاه در وزن خشک گیاه و زیست‌توده‌ی کل شود. این در حالی است که مشخص شده است که مقادیر نسبت سطح برگ و نسبت وزن برگ می‌تواند به‌طور مستقیم، تحت تأثیر فاکتورهای محیطی و اگر نومیکی قرار گیرد (کریمی و عزیزی 1373). بررسی وضعیت وزن ویژه برگ نیز بیان‌گر همین

تعداد گیاهچه مشاهده‌شده را در مرحله سه برگی داشتند (شکل 3). ول و همکاران (1980) اظهار داشتند اگرچه تفاوت‌های جزئی در رویش اولیه ممکن است کم‌اهمیت جلوه نمایند ولی، می‌توانند اختلافات قابل‌ملاحظه‌ای را در مراحل بعدی رشد ایجاد کنند. بایستی توجه داشت، میزان روی بذرها دریا که پیش از کشت مورد ارزیابی قرار گرفته بود بیش از ارقام دیگر بود (جدول 2). گراهام و ولچ (1996) در گندم گزارش کردند بذوری با مقدار روی بالا در خاک‌های نامساعد، جوانه‌زنی بیشتری داشته و پس از سپری شدن سه هفته از کشت، بوته‌های بزرگ‌تری را تولید نمودند. چاکماک و همکاران (2010) گزارش کردند در بذوری که با کمبود روی روبرو هستند، جوانه‌زنی با تأخیر صورت می‌پذیرد. قادری و ملکوتی (1379) با بررسی نقش روی و منگنز در کیفیت بذر گندم اعلام نمودند که مقدار این عناصر در بذر، مانند یک کود آغازگر عمل می‌کند به‌گونه‌ای که گذشته از افزایش رشد رویشی و عملکرد، باعث کاهش مصرف کود نیز خواهد گشت.

از نظر صفت سطح برگ، برهم‌کنش ارقام در سطوح سولفات روی در مرحله هفت‌برگی در سطح احتمال یک درصد معنادار گشت (جدول 3). در مرحله مزبور، ارقام دریا و آرتا بیشترین سطح برگ را با کاربرد خاکی داشتند. در همین زمینه، کمترین میزان این مؤلفه مربوط به ارقام N-80-19 و شیرودی در سطوح (صفر و کاربرد خاکی) سولفات روی بود (شکل 4) که نشان از تفاوت پاسخ ارقام داشت. گزارش‌های متعدد، مؤید وجود اختلافات ژنتیکی میان ژنوتیپ‌های گوناگون از نظر کارایی بهره‌گیری از روی و غلظت روی دانه هست (خوشگفتارمنش و همکاران 2004). شهید و همکاران (2010). این اختلاف می‌تواند مربوط به تفاوت در رشد ریشه (دانگ و همکاران 1993)، افزایش رشد ریشه در مقایسه با رشد ساقه، جذب بیشتر روی در ارقام کارآمد روی، رهش سیدروفورهای متحرک‌کننده

موضوع هست به طوری که اثرات اصلی هر دو فاکتور ارقام و سطوح سولفات روی در سطح احتمال یک درصد معنادار گردید (جدول 3). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن ویژه برگ مربوط به کاربرد خاکی سولفات روی و ارقام شیروودی و N-80-19 بود (جدول 5 و شکل 7). به نظر می‌رسد کاربرد سولفات روی موجب گردیده تا برگ‌های تولیدشده دارای لایه‌های یاخته‌ای بیش‌تری باشند که در نتیجه موجب افزایش وزن ویژه برگ گردیده است. گزارش شده است افزایش وزن ویژه برگ با افزایش سرعت فتوسنتز ارتباط دارد (لی و همکاران 2014). بنابراین، این احتمال نیز وجود دارد که یکی از دلایل افزایش میزان زیست‌توده تولیدشده در تیمارهای کاربرد سولفات روی افزایش وزن ویژه برگ و در نتیجه افزایش سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ باشد.

اثرات اصلی فاکتورهای سطوح سولفات روی و ارقام در مورد مقدار نسبی آب، به‌عنوان یکی از شاخصه‌های رشد گیاه، در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول 3). به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میزان مقدار نسبی آب متعلق به رقم دریا و آرتا بوده و ارقام دیگر تفاوتی را از این نظر نشان ندادند (جدول 5). همچنین، کاربرد کود سولفات روی نیز توانست مقادیر این مؤلفه را نسبت به شاهد افزایش دهد. بانسال و همکاران (1990) اعلام داشتند که همبستگی بالایی میان پتانسیل آب برگ و مقدار نسبی آب وجود داشته و کاهش در میزان این مؤلفه با کاهش در میزان رشد به‌ویژه، رشد رویشی همراه بود. کاهش پتانسیل آب مانع تقسیم یاخته‌ای، رشد اندام، فتوسنتز خالص و سنتز پروتئین گردیده و تعادل هورمونی بافت‌های اساسی گیاه را تغییر می‌دهد. در پژوهش کنونی تفاوت در نتایج به‌دست‌آمده را می‌توان به اختلاف ارقام مورد مطالعه و تأثیر کود به‌کاررفته نسبت داد. به طوری که مانته و همکاران (1988) نیز اختلاف معناداری را برای ارقام گندم مورد بررسی از لحاظ میزان نسبی آب برگ گزارش کردند. همچنین، باجی و همکاران (2007)

نشان دادند که مصرف روی کارآیی مصرف آب در گندمیان را بهبود می‌بخشد. از نظر شمار پنجه‌های بوته آشکار گردید که کاربرد خاکی سولفات روی در مقایسه با عدم بهره‌گیری از این کود، هر دو مؤلفه را در ارقام گوناگون مورد مطالعه تحت تأثیر قرار داد (جدول 4). در پژوهش کنونی، بیش‌ترین شمار کل پنجه در ارقام دریا، آرتا و تجن به‌هنگام کاربرد کود و کمترین آن در شرایط عدم کاربرد کود و در رقم شیروودی دیده شد (شکل 8). براون و همکاران (1993) اعلام نمودند که مصرف روی در گندم موجب افزایش شمار پنجه و سرعت پنجه‌زنی می‌شود. همچنین، دانگ و همکاران (1993) گزارش کردند که در شرایط کمبود شدید روی اندازه‌ی میان‌گره‌ها کوتاه شده، گیاه از رشد باز مانده و پنجه‌زنی نیز به‌شدت کاهش می‌یابد. این احتمال وجود دارد که افزایش درازای میانگره‌ها در تیمارهای کاربرد سولفات روی به‌دلیل تأثیر بر بیوسنتز اکسین‌ها باشد که موجب افزایش میزان این هورمون در پیکره گیاه شده است (خلدبرین و اسلام‌زاده 1380). در مجموع، فراهمی عنصر روی، شمار سنبله را در بوته افزایش داده و از فراوانی پنجه‌های نابارور خواهد کاست (ملکوتی و کشاورز 1384). در اندازه‌گیری‌های انجام‌یافته در مراحل پس از افشانه کردن روشن گردید که اثرات اصلی سطوح سولفات روی و ارقام بر روی مؤلفه عملکرد زیستی (زیست‌توده) در سطح احتمال یک درصد معنادار است (جدول 4) به‌این‌ترتیب کاربرد خاکی سولفات روی، دارای بیش‌ترین و تیمارهای شاهد و افشانه کردن در مرحله شکمی دارای کم‌ترین عملکرد زیست‌شناختی بودند (شکل 9). در مورد ارقام نیز رقم شیروودی کم‌ترین و ارقام آرتا، دریا و تجن بیش‌ترین مقدار این صفت را داشتند (جدول 5). ساجدی و اردکانی (1387) با مطالعه بر روی گیاه ذرت علوفه‌ای گزارش کردند گیاهانی که از عنصر روی بهره برده‌اند، به‌علت فعالیت آنزیمی بیش‌تر در واکنش‌های فتوسنتزی، از برگ‌های سبزی که در طول دوره رشد گیاه مدت‌زمان بیش‌تری را فعالیت داشتند، برخوردار بودند.

در این پژوهش متأثر از کاربرد خاکی سولفات روی گردیدند (جدول 6) و از سوی دیگر، به علت افشانه کردن تیمارهای سولفات روی در مرحله دانه بندی (مرحله تکوین جزء سوم عملکرد یا وزن هزار دانه)، و اهمیت کمتر این جزء در ارقام نوین گندم (کافی و همکاران 1384)، تأثیر مناسب تر کاربرد خاکی روی در این راستا بیش از پیش مشخص می گردد. افزایش عملکرد گندم در نتیجه کاربرد روی، توسط سینگ (2004) و چاکماک و همکاران (2010) نیز گزارش شده است. گذشته از این، با عنایت به نتایج به دست آمده از پژوهش کنونی در مراحل رویشی و زایشی، می توان افزایش در عملکرد را به بهبود رشد اولیه گیاه و نمو بهینه بخش های رویشی در هنگام بهره گیری از عنصر روی در مقاطع مناسب رشدی نسبت داد. ول و همکاران (1980) طی پژوهشی اعلام داشتند که بین فتوسنتز ظاهری هر بوته و سطح برگ آن ارتباط معنی داری وجود داشته که این ارتباط می تواند به افزایش عملکرد دانه ای بیانجامد. لویز-کاستاندا و همکاران (1996) نیز طی پژوهش مشابهی به وجود همبستگی ژنتیکی مثبت و قوی میان نمو بهینه اندام های رویشی و افزایش زیست توده با عملکرد نهایی گیاه در برخی از غلات اشاره کردند.

با توجه به معنادار بودن اثر اصلی ارقام در این بررسی (جدول 4)، بیشترین میزان این صفت مربوط به ارقام آرتا، تجن و دریا بود که با ارقام N-80-19 و شیرودی اختلاف معناداری را در سطح یک درصد داشتند (جدول 5). رنگل و ویل (1997) اظهار داشتند که تفاوت در کارآیی بهره گیری از روی در میان ارقام گندم می تواند ناشی از اختلاف در توانایی جذب این عنصر توسط ریشه باشد. این تفاوت می تواند به توانایی استفاده از آب توسط ارقام و تحمل آن ها به خشکی (اکیز و همکاران 1998) و از اختلاف فیزیولوژیک در میزان دسترسی به این عنصر در سطح یاخته ای ناشی گردد (چاکماک 1996).

لذا، در میان تیمارهای کودهای کم مصرف، بیشترین انباشت ماده ی خشک و عملکرد علوفه ای نیز مربوط به تیمار کودی سولفات روی بود. در گندم های رشد کرده در خاک های آهکی، خان و همکاران (2008) گزارش کردند که کاربرد کود روی، عملکرد زیستی و سرعت رشد نسبی گندم را همراه با عملکرد دانه ای بهبود بخشید. همچنین، اوزتورک و همکاران (2006) کاربرد خاکی کود روی را در افزایش ماده خشک گندم بسیار مؤثر دانسته اند.

اثر اصلی سطوح سولفات روی بر کلروفیل برگ در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول 4). در بین تیمارهای کاربرد سولفات روی بیشترین مقدار کلروفیل زمانی به دست آمد که این عنصر به صورت خاکی مصرف گردید. کمترین مقدار این پارامتر نیز در تیمار عدم مصرف عنصر روی مشاهده گردید (جدول 6). عنصر روی از راه اتصال به گروه سولفیدریل باعث انسجام آنزیم ها، پروتئین ها و ساختمان چربی غشای سلولی گردیده و در پی آن موجبات سنتز کلروفیل را فراهم خواهد نمود (آیاد و همکاران 2010). به بیان دیگر، تشکیل پورفوبیلینوژن به عنوان پیش ماده کلروفیل در حضور عناصر منیزیم و روی صورت می پذیرد. در گیاه ذرت پتارزیسکی و گرزبیس (2009) گزارش کردند که عنصر روی تأثیر مثبتی را در افزایش مقدار کلروفیل برگ دارد.

اثرات اصلی فاکتورها در صفت عملکرد کل معنادار شدند (جدول 4). بیشترین عملکرد دانه ای مربوط به کاربرد خاکی سولفات روی به هنگام کاشت بود. تیمارهای افشانه کردن سولفات روی، بدون اختلاف معنی دار با یکدیگر در مرتبه بعدی قرار گرفتند (جدول 6). از آنجایی که عملکرد کل برآیندی از اجزای عملکرد هست، حصول چنین نتیجه ای قابل پیش بینی بود. به بیان بهتر، از یک سو، به دلیل تشکیل مهم ترین اجزای عملکرد گندم (شمار سنبله در واحد سطح و شمار دانه در هر سنبله)، به ترتیب در مراحل رویشی و زایشی (شکاری و همکاران 1389، کافی و همکاران 1384) که

جدول ۳ - تجزیه واریانس صفات گندم مربوط به نمونه‌برداری در مرحله هفت‌برگی.

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک برگ	درصد سبز شدن گیاهچه	وزن خشک گیاهچه	سطح برگ	نسبت سطح برگ	نسبت وزن برگ	وزن ویژه برگ	مقدار نسبی آب برگ
سولفات روی	۱	۴۲۲۱۲/۵ ^{***}	۴۶۰/۲۰۴ ^{**}	۲۰۲۸۱۶/۶ ^{**}	۸۱۷۰۹۱۲/۲ ^{**}	۴۶/۲۰۰	۰/۲۷۲×۱۰ ^{-۳*}	۰/۱۸۱۶×۱۰ ^{-۳*}	۱۷۰/۲۶۶ ^{**}
رقم	۴	۲۲۶۶/۴ ^{**}	۱۶۵/۲۳۸ ^{**}	۱۰۹۸۹/۹ ^{**}	۴۶۸۴۴۱۱/۳ ^{**}	۵/۴۸۰۰	۰/۴۲۹۸×۱۰ ^{-۳*}	۰/۵۵۵۰×۱۰ ^{-۳*}	۱۴۴/۴۷۰ ^{**}
سولفات روی × رقم	۴	۱۹۹۹/۴ ^{**}	۱۱/۴۹۳ ^{**}	۵۹۶۵/۳ ^{**}	۵۳۰۴۲۴/۶ ^{**}	۱/۴۲۰۰۰	۰/۱۹۴۲×۱۰ ^{-۳*}	۰/۱۰۶۶×۱۰ ^{-۳*}	۳۰/۳۳۹
بلوک	۲	۵۰۰/۱	۶/۴۵۸	۴۶۳/۹	۴۱۹۲۹۹/۱	۳/۷۲۱۰۰	۰/۵۳۷۲×۱۰ ^{-۳*}	۰/۴۳۱۵×۱۰ ^{-۳*}	۲/۵۹۳
اشتباه	۱۸	۱۶۶/۲	۱/۹۶۷	۱۶۳/۸	۴۴۴۸۰/۳	۰/۳۹۷	۰/۱۷۳۶×۱۰ ^{-۳*}	۰/۰۰۰	۱۶/۵۷۰
ضریب تغییرات (%)	-	۴/۶۹	۲/۵۶	۲/۴۱	۲/۸۰	۳/۸۰	۲/۵۳	۵/۸۲	۶/۵۹

* و ** به ترتیب معنادار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴ - نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به صفات مورد بررسی در گندم بهاره تحت تأثیر عامل‌های سولفات روی و رقم.

منابع تغییر	درجه آزادی	شمار سنبله در واحد سطح	شمار دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	ارتفاع بوته	شمار پنجه	زیست توده
سولفات روی	۴	۷۷۵۷/۶۷۵**	۵۰/۵۲۶**	۸/۳۷۱	۲۰۰۶۶۹۸/۲**	۱۰۰/۸۷۰**	۴/۸۳۸**	۱۱۸۰۰۵۳۸/۴**
رقم	۴	۲۴۲۴/۴**	۹۴/۵۶**	۵۶/۷۱۰**	۱۵۰۸۸۰۵/۵۳**	۲۳۴/۳۵۱**	۱/۷۶۶**	۵۴۸۲۶۷۵/۳**
کود × رقم	۱۶	۲۷۷/۶۸۷	۲/۰۷۸	۴/۶۱۰	۵۲۴۰۰/۴۵۲	۱۲/۴۰۰	۰/۳۹۹**	۲۶۰۲۷۶/۰
تکرار	۲	۱۷۷۵/۷۴۳*	۲/۰۲۵	۷/۰۱۹	۴۷۳۵/۹۷۷	۱۳/۳۴۰	۰/۰۸۲	۴۷۷۵۱۱/۸
اشتباه	۴۸	۵۱۱/۹۹۴	۷/۱۹۶	۵/۷۴۷	۱۲۴۲۴۳/۶۹۷	۹/۲۷۴	۰/۰۵۳	۳۲۳۱۸۵/۹
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۴۱	۱۳/۳۴	۶/۶۷	۱۵/۹۲	۵/۲۸	۱۴/۹۴	۱۲/۶۲

دنباله جدول ۴

منابع تغییر	درجه آزادی	درازی سنبله	ارتفاع پنجه‌های بوته	شاخص کلروفیل	شاخص برداشت	میزان روی دانه	میزان پروتئین دانه
سولفات روی	۴	۱/۵۰۷**	۲۰۶/۵۲۲**	۵۶/۵	۵۸/۰۰۳	۲۹۲/۳۵**	۰/۴۲۵**
رقم	۴	۷/۹۱۵**	۴۱۹/۹۱۲**	۰/۳۶**	۷۶/۲۵۵	۴۴/۴۹۴**	۲/۵۴۳**
کود × رقم	۱۶	۰/۱۶۰	۹۸/۲۷۶*	۰/۴۷	۲۱/۹۶۷	۴/۰۰۳**	۰/۱۶۹**
تکرار	۲	۰/۱۲۹	۱۳/۸۴۰	۴/۲	۷۴/۸۴۵	۰/۰۲۹	۰/۰۶۳
اشتباه	۴۸	۰/۲۵۲	۳۵/۰۳۴	۰/۲۵	۵۱/۰۰۴	۰/۰۵۷	۰/۰۱۵
ضریب تغییرات (%)	-	۶/۲۹	۱۸/۶۱	۱/۲	۱۴/۳۶	۱/۹۵	۳/۱

* و ** به ترتیب معنادار در سطح احتمال پنج و یک درصد

آزمایش‌ها باشد. در پژوهش کنونی، برهم‌کنش رقم و سولفات روی بر درصد پروتئین دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول 4). به‌این‌ترتیب، بیش‌ترین درصد پروتئین دانه مربوط به رقم تجن در کاربرد خاکی سولفات روی با 17/9 درصد و کمترین مربوط به رقم N-80-19 در افشانه کردن سولفات روی در مراحل شکمی و شیری دانه با 16/3 درصد بود (شکل 11). عنصر روی به‌طور فعالی در سوخت‌وساز نیتروژن دخیل هست (فاجریا و همکاران 2003). از سوی دیگر، برخلاف هیدرات‌های کربن، اصلی‌ترین منشأ نیتروژن دانه بازگسیل نیتروژن انباشته‌شده در دوره پیش از گل‌شکفتگی در بخش‌های رویشی است (کافی و همکاران 1384). این در حالی است که خود عنصر روی توان و قابلیت بسیار بالایی در بازگسیل از برگ‌های پایینی به برگ‌های بالایی گیاه دارد (شکاری و همکاران 1389). بنابراین، بدیهی است کاربرد خاکی روی با تقویت این مؤلفه خواهد توانست در تغییرات و افزایش پروتئین دانه دخیل باشد. بلالی و ملکوتی (1377) اظهار داشتند که درصد پروتئین دانه در روش پیش‌تیمار همراه با افشانه‌کردن نسبت به مصرف خاکی 6/7 درصد افزایش داشت.

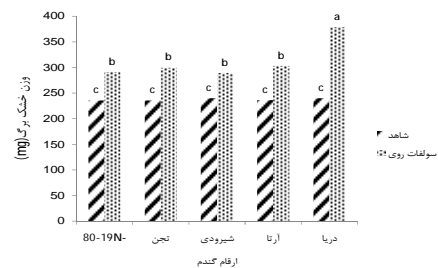
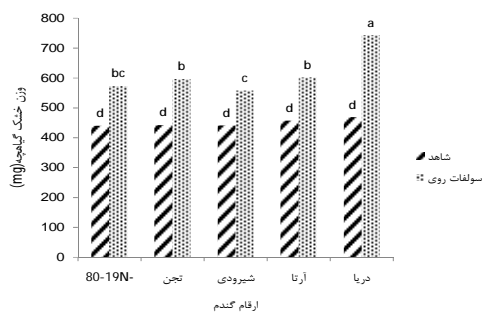
از دیدگاه زی‌فزونی روی در دانه، نتایج نشان داد که برهم‌کنش رقم در کاربرد سولفات روی در سطح احتمال یک درصد بر غلظت روی دانه معنادار بود (جدول 4) بررسی مقایسات میانگین تیمارها نشان داد که از دیدگاه زی‌فزونی، افشانه کردن سولفات روی در مراحل شیری و خمیری بالاترین انباشت این عنصر را در رقم دریا با مقدار 21/3 میلی‌گرم در کیلوگرم به دنبال داشت (شکل 10) که در مقایسه با میزان اولیه‌ی روی موجود در دانه این رقم (جدول 2) افزایشی 193/3 درصدی را نشان داد. بر همین پایه، کمترین غلظت روی دانه مربوط به تیمار عدم کاربرد روی در رقم N-80-19 و شیروودی با مقدار 5/6 میلی‌گرم در کیلوگرم بود (شکل 10). یلماز و همکاران (1997) مشاهده کردند که کاربرد سولفات روی، غلظت این عنصر را در دانه ارقام گندم بهبود بخشید. اوزتورک و همکاران (2006) نشان دادند که بالاترین میزان روی موجود در دانه به هنگام افشانه کردن روی در مرحله شیری دانه به‌دست می‌آید. در مقابل، چاکماک (2008) اظهار داشت که بهترین نتیجه از افشانه کردن این عنصر، در سه مرحله شکمی، شیری و خمیری به‌دست می‌آید. این مسأله می‌تواند نشان‌دهنده تأثیرات حاصل از عوامل محیطی و ارقام در

جدول 5- مقایسه‌ی میانگین اثرات اصلی ارقام بر صفات موردبررسی در پنج رقم گندم بهاره.

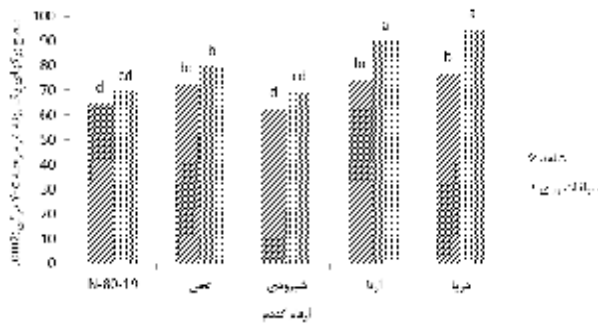
صفات تیمار	شمار دانه در سنبله	مقدار نسبی آب (%)	وزن ویژه برگ (mg mm^{-1})	عملکرد زیستی (kg ha^{-1})	عملکرد دانه (kg ha^{-1})	ارتفاع بوته (cm)	درازای سنبله (cm)
N-80-19	18/42 ^b	53 ^b	0/039 ^a	4207/7 ^b	1984/8 ^b	58/25 ^b	6/98 ^b
تجن	21/23 ^{ab}	54 ^b	0/035 ^b	4744/6 ^{ab}	2491/4 ^a	57/44 ^b	8/45 ^a
دریا	22/68 ^a	70 ^a	0/035 ^b	4908/2 ^a	2434/4 ^a	63/68 ^a	8/65 ^a
شیروودی	16/2 ^a	55 ^b	0/040 ^a	3604 ^c	1773/3 ^b	53/32 ^c	7/43 ^b
آرتا	21/2 ^a	66 ^{ab}	0/034 ^b	5020 ^a	2387/4 ^a	55/81 ^b	8/21 ^a

جدول 6- مقایسه میانگین برای عملکرد و اجزای عملکرد پنج رقم گندم بهاره در اثرات اصلی کود سولفات روی.

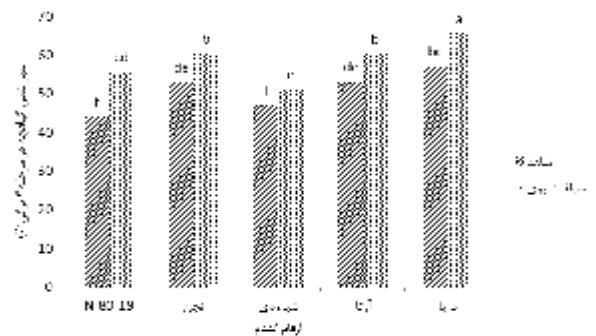
صفات تیمار	شمار سنبله در مترمربع	شمار دانه در سنبله	عملکرد دانه (kg ha^{-1})	ارتفاع بوته (cm)	درازای سنبله (cm)	سطح برگ (cm^2)	زیست توده (kg ha^{-1})	شاخص کلروفیل
صفر	293/22 ^b	19/87 ^b	2032/12 ^b	57/95 ^b	7/69 ^b	18/87 ^b	4101 ^b	40/77 ^d
کاربرد خاکی	317/22 ^a	21/81 ^a	2334/49 ^a	62/8 ^a	8/57 ^a	19/48 ^a	6181/2 ^a	45/71 ^a
افشانه - شکمی	295/85 ^b	19/97 ^b	2065/17 ^b	56/53 ^b	7/96 ^b	18/88 ^b	3909/5 ^b	42/09 ^b
افشانه - شکمی و شیری	297/37 ^b	19/97 ^b	2117/83 ^b	59/3 ^{ab}	7/84 ^b	19/15 ^{ab}	4284/40 ^b	41/59 ^{bc}
افشانه - شیری و خمیری	300/59 ^b	20/26 ^b	2268/39 ^b	62/38 ^a	8/08 ^{ab}	19/23 ^{ab}	4624/5 ^b	41/54 ^c



شکل 2- تأثیر کاربرد خاکی سولفات روی و ارقام گندم بر روی وزن خشک گیاهچه.

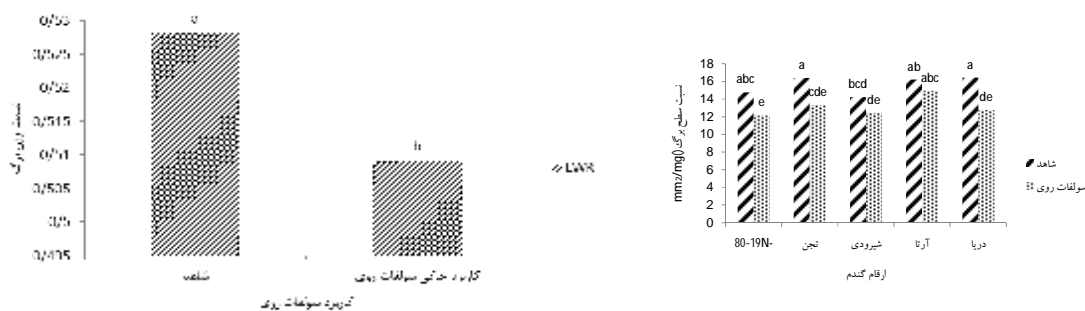


شکل 1- تأثیر کاربرد خاکی سولفات روی و ارقام گندم بر روی وزن خشک برگ.

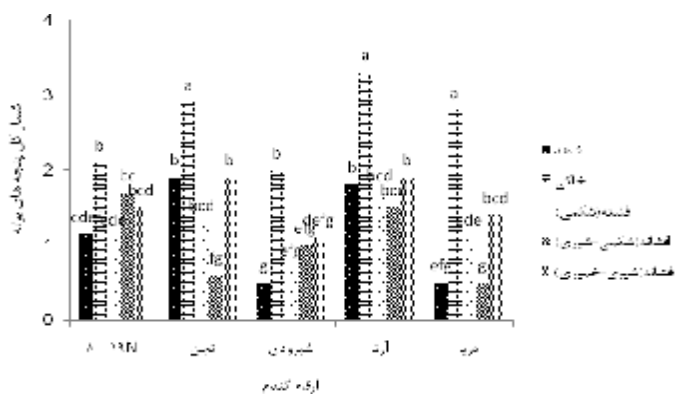


شکل 4- تأثیر کاربرد خاکی سولفات روی و ارقام گندم بر روی سطح برگ‌های یک بوته در مرحله 5-7 برگی.

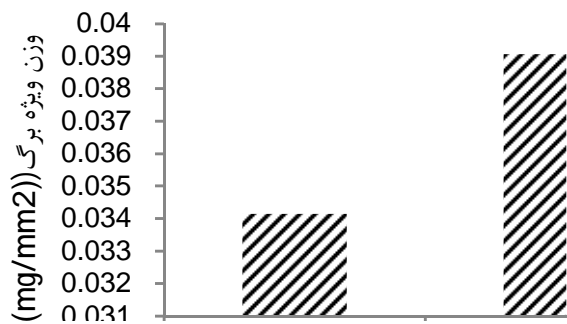
شکل 3- تأثیر کاربرد خاکی سولفات روی و ارقام گندم بر روی درصد سبز شدن گیاهچه در مرحله 3 برگی.



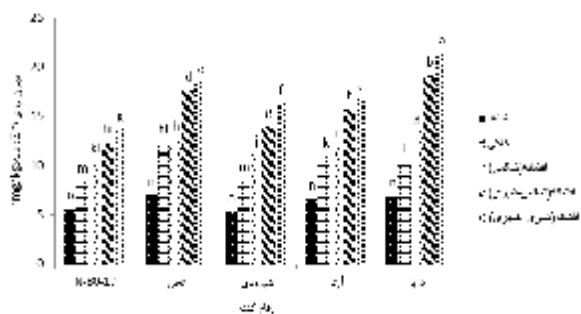
شکل 6 تأثیر کاربرد خاکی سولفات روی بر روی نسبت وزن برگ.



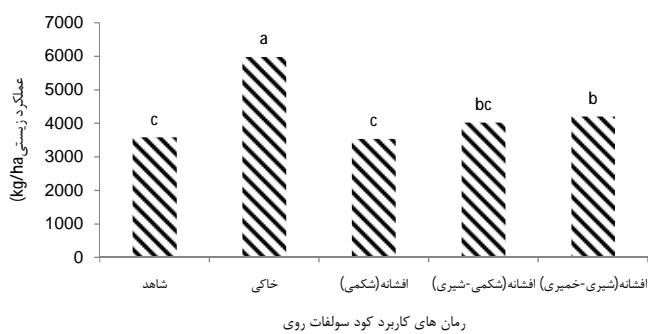
شکل 5- تأثیر کاربرد خاکی سولفات روی و ارقام گندم بر روی نسبت سطح برگ.



شکل 8- تأثیر روش مصرف و زمان کاربرد سولفات روی و ارقام گندم بر روی شمار پنجه‌های بوته.

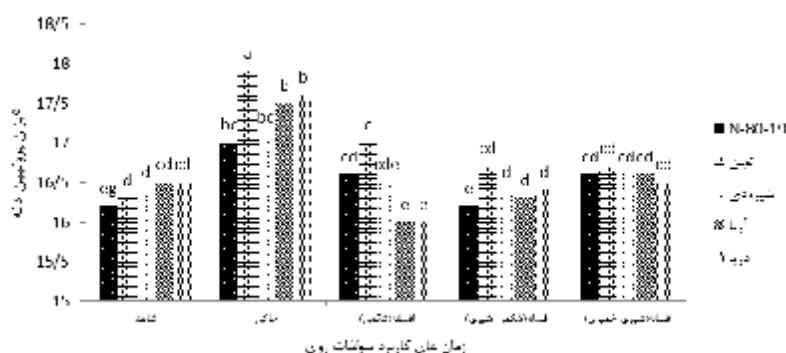


شکل 7- تأثیر کاربرد خاکی سولفات روی بر وزن ویژه برگ.



شکل 10- کاربرد کود سولفات روی و ارقام گندم بر میزان روی (Zn) دانه.

شکل 9- تأثیر زمان‌های کاربرد کود سولفات روی بر روی عملکرد زیستی.



شکل 11- کاربرد کود سولفات روی و ارقام گندم بر میزان پروتئین دانه.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده وجود تفاوت در تأثیرات حاصله از زمان اعمال روی و همچنین، اختلاف در پاسخ ارقام به تیمارهای یادشده هست. با توجه به این نتایج آشکار گردید که چنانچه هدف افزایش عملکرد دانه‌ای گندم باشد اعمال کودهای دارای روی در مراحل آغازین رشد سودمندتر از مراحل نهایی خواهد بود. از سوی دیگر، زی‌فرونی روی برخلاف عملکرد، بیشتر از کاربرد این عنصر در مراحل پایانی رشد متأثر می‌گردد. از این رو، کاربرد خاکی و برگی عنصر روی خواهد توانست موجب افزایش توأم روی دانه و عملکرد کل شود. درباره ارقام نیز انجام آزمایش‌های تکمیلی می‌تواند علت دقیق‌تر تفاوت این

ارقام را نسبت به کاربرد عنصر روی و همچنین تفاوت پاسخ ارقام را در مناطق مختلف روشن سازد. بر پایه نتایج پژوهش کنونی، بیش‌ترین عملکرد دانه‌ای و اندوخته پروتئین مربوط به کاربرد خاکی این عنصر بوده ولی از دیدگاه زی‌فرونی، افشانه‌کردن این عنصر در مراحل شیری و خمیری از کارآیی افزون‌تری برخوردار گردید. رقم دریا در آزمایش حاضر رقمی بود که توانست بیش‌ترین عملکرد دانه‌ای را به همراه بالاترین غلظت روی دانه دارا گردد. به‌علاوه، این پژوهش آن دسته از ویژگی‌های ریخت‌شناختی و نمودی را که به‌طور مستقیم تحت تأثیر کاربرد روی قرار گرفته و در افزایش غلظت روی دانه و یا عملکرد ایفای نقش می‌نمایند را مشخص نمود.

منابع مورد استفاده

- احیایی ع و بهبهانی زاده ع، 1372. شرح روش‌های تجزیه خاک (جلد اول). مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره 893.
- بلالی مرو ملکوتی م، 1379. مقایسه روش‌های مختلف مصرف عناصر کم‌مصرف و سولفات منیزیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گندم آبی در استان‌های مختلف ایران. (مجموعه مقالات). نشر آموزش کشاورزی. صفحه‌های 135 تا 152.
- خلدبرین ب و اسلام‌زاده ط، 1380. تغذیه معدنی گیاهان عالی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شیراز، ایران.
- ساجدی نع و اردکانی مر، 1387. اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن، روی و آهن بر شاخص‌های فیزیولوژیک ذرت علوفه‌ای در استان مرکزی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد 6، شماره 1، صفحه‌های 99 تا 109.
- سالاردینی ع، 1387. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران. (چاپ هشتم) شماره 1739 صفحه.
- شکاری ف، شکاری ف و اسفندیاری ع، 1389. فیزیولوژی تولید در گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات دانشگاه مراغه، 412 صفحه.
- فتحی ق، 1378. رشد و تغذیه گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- قادری ج و ملکوتی م، 1379. نقش روی و منگنز در تولید بذرهای قوی گندم. در: ملکوتی، م. ج. (تدوین‌کننده). تغذیه متعادل گندم راهی بسوی خودکفایی در کشور و تامین سلامت جامعه (مجموعه مقالات). نشر آموزش کشاورزی، صفحه‌های 269 تا 278.

- کافی م، جعفرنژاد ا و جامی‌الاحمدی م، 1390. گندم - اکولوژی، فیزیولوژی و برآورد عملکرد (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- کریمی م و عزیزی م، 1373. آنالیز رشد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، 111 صفحه.
- ملکوتی م ج و کشاورز پ، 1384. نگرشی بر حاصلخیزی خاک‌های ایران (شناسایی و بهره‌برداری). مؤسسه تحقیقات آب و خاک. شماره 13، 503 صفحه.
- ملکوتی م ج، 1380. راهنمای عملی برای بهینه‌سازی مصرف کود در کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. نشریه فنی شماره 170، صفحه‌های 121 تا 134.
- Ayad HS, Reda F and Abdalla MSA, 2010. Effect of putrescine and zinc on vegetative growth, photosynthetic pigments, lipid peroxidation and essential oil content of geranium (*Pelargonium graveolens* L.). *World Journal of Agricultural Sciences* 6: 601-608.
- Bagci SA, Ekiz H, Yilmaz A and Cakmak I, 2007. Effects of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193(3):198-206.
- Bansal RL, Takker PN, Bhandari AL and Rana DS, 1990. Critical level of DTPA extractable Zn for wheat in alkaline soils of semiarid region of Punjab, Indian. *Fertilizer Research* 21: 163-166.
- Brown PH, Cakmak I and Zhang Q, 1993. Form and function of zinc in plants. In: Robson A.O. (Ed). *Zinc in Soil and Plants*. Kluwer Academic publishers, Dordrecht, The Netherlands. Pp 93-106.
- Cakmak I, Yilmaz A, Kalayci M, Ekiz H, Torun B, Erenoglu B and Braun HJ, 1996. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. *Plant and Soil* 180: 165-172.
- Cakmak I, 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist* 146(2):185-205.
- Cakmak I, 2008. Enrichment of cereal grain with zinc: Agronomic or genetic biofortification. *Plant Soil* 302: 1-17.
- Cakmak I, Kalayci M, Kaya Y, Torun AA, Aydın N and Wang Y, 2010. Biofortification and Localization of Zinc in Wheat Grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 9092-9102.
- Dang YD, Edwards G, Dalal RC and Tilter KG, 1993. Identification of aninden tissue to predict Zinc Status of wheat. *Plant and Soil* 154: 161-167.
- Ekiz H, Bagcı SA, Kýral A, Eker S, Gültekin I, Alkan A, and Cakmak I, 1998. Effects of zinc fertilization and irrigation on grain yield and zinc concentration of various cereals grown in zinc-deficient calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition* 21(10): 2245-2256.
- Fageria NK, Baligar VC and Jones CA, 1991. *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops*. Marcel Dekker Inc., pp. 746.
- Fageria N.K., Slaton N.A., Baligar V.C., 2003. Nutrient management for improved lowland rice productivity and sustainability. *Advances in Agronomy* 80: 63-152.
- Anonymous, 2007. United Nations World Food programme (WFP). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Available on: <http://www.reliefweb.int/rw/rwb.nsf/db900sid/eguh-75tmki?> Open document.
- Graham RD and Welch RM, 1996. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density. Working Papers on Agricultural Strategies for Micronutrients, No. 3, International Food Policy Research Institute.
- Jon C and Loon V, 1980. *Analytical Atomic Absorption Spectroscopy*. Academic Press Inc. pages 158-220.
- Kadam N, Yin X, Bindraban P, Struik P.C, Jagadish K SV, 2015. Does orphological and anatomical plasticity 1 during the vegetative stage make 2 wheat more tolerant of water-deficit stress than rice? *Plant Physiology* January 22, 2015.
- Khan MA, Fuller MP and Baloch FS, 2008. Effect of Soil Applied zinc sulphate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil in Pakistan. *Cereal Research Communications* 36(4): 571-582.
- Khoshgoftarmanesh AH, Shariatmadari H, Karimian N, Kabasi M and Khjehpour MR, 2004. Zinc efficiency of wheat cultivars grown on a saline calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1953-1962.
- Li T, Liu L-N, Jiang C-D, Liu Y-J, Shi L, 2014. Effects of mutual shading on the regulation of photosynthesis in field-grown sorghum. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 137:31-38.
- Lopes-Castanda C, Richard RA, Farquhar GD and Williamson RE, 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Science* 36: 1257-1266.
- Manette AS, Richard CJ, Carre B and Morhinweg B, 1988. Water relations in winter wheat as drought indicators. *Crop Science* 28: 256- 531.
- Ozkutlu F, Torun B, Cakmak I, 2006. Effect of zinc humate on growth of soybean and wheat in zinc-deficient calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37:2769-2778.
- Ozturk L, Yazici MA, Yucel C, Torun A, Cekic C, Bagci A, Ozkan H, Braun H-J, Sayers Z, Cakmak I, 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiology Plant* 128:144-152.

- Peck AW, McDonald GK, Graham RD, 2008. Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* 47: 266–274.
- Potarzycki J and Grzebisz W, 2009. Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant Soil Environ* 55: 519 -527.
- Rengel Z, Wheal MS, 1997. Herbicide chlorsulfuron decreases growth of fine roots and micronutrient uptake in wheat genotypes. *Journal of Experimental Botany* 48: 927-34.
- Sabrawat AK, and Chand S, 1999. Effect of zinc on plant regeneration in indica rice. *Rice Biotechnol. Quarterly* 37: 17-27.
- Schachtman DP and Barker SJ, 1999. Molecular approaches for increasing the micronutrient density in edible portions of food crops. *Field Crop Research* 60: 81-92.
- Shahid H, Maqsood MA and Rahmatullah M, 2010. Increasing grain zinc and yield of wheat for the developing world: A Review. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 22(5): 326-339.
- Singh YP, 2004. Effect of nitrogen and zinc on wheat irrigated with alkali water. *Annals of Agricultural Research* 25:233–236.
- Slaton N A, Wilson CE, Ntamatungiro S, Norman RJ and Boothe dL, 2001. Evaluation of zinc seed treatments for rice. *Agronomy Journal*. 93: 152-157.
- Weatherley DA, 1950. Studies in the water relations of the cotton plant. the field measurements of water deficits in leaves, *New Physiologist* 49: 81-97.
- Well R, Meredith WR and Williford JR, 1980. Heterosis in upland cotton. II. Relationship of land area to plant photosynthesis. *Crop Science* 28: 522-525.
- Yilmaz A., Ekiz H., Torun B., Gultekin I., Karanlik S., Bagci S.A., Cakmak I., 1997. Effect of Different Zinc Application Methods on Grain Yield and Zinc Concentration in Wheat Cultivars Grown on Zinc-Deficient Calcareous Soils. *Journal of Plant Nutrition* 20(4&5): 461–471.
- Zhang L, Richards RA, Condon AG, Liu DC and Rebetzke GJ, 2014. Recurrent selection for wider seedling leaves increases early biomass and leaf area in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Experimental Botany* 67 (1): 34-41.