Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 95-113

Growth and Yield of Millet (*Panicum miliaceum* L.) as Affected by Different Levels of Organic Fertilizer and Zinc Sulfate

M. Hasemi[1], M.A. Behdani[2*], M. Jamialahmadi[3] and H.R. Fallahi[4]

Received: 18-10-2020
Revised: 12-02-2021
Accepted: 16-02-2021
Available Online: 15-06-2022

How to cite this article:
Hasemi[1], M., Behdani, M.A., Jamialahmadi, M., and Fallahi, H.R., 2022. Growth and yield of millet as affected by different levels of organic fertilizer and zinc sulfate. Journal of Agroecology 14(1):95-113.
DOI: 10.22067/agry.2021.20322.0

Introduction

Millet (*Panicum miliaceum* L.) is a ,warm-season grass with a growing season of 60–100 days. It is a highly nutritious cereal grain used for human consumption, birdseed, and/or ethanol production. Millet ranks sixth among the world's most important cereal grains, sustaining more than one-third of the world's population. Millets are generally among the most suitable crops for sustainable agriculture and food security on marginal lands with low fertility. Millet crops are grown on marginal lands and under low-input agricultural conditions, situations in which major cereal crops often produce low yields. Foliar application of Zn brings the greatest benefit in comparison with addition to soil where they become less available. Generally, Micronutrients are essential for plant growth and play an important role in balanced crop nutrition. Micronutrients are as important to plant nutrition as primary and secondary nutrients, though plants do not require as much of them.

Materials and methods

To study the effect of cow manure (CM: 0, 10, 20, and 30 ton ha^{-1}) and zinc sulfate (ZS: 0, 60, and 90 kg ha^{-1}) application on common millet (*Panicum miliaceaum* L.) growth and yield, a factorial experiment based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications was conducted in the research field of University of Birjand, Iran, in 2018 growing season. In addition, a chemical fertilizer (NPK) treatment was considered in each block, and its effect was compared with 12 other combination treatments based on a randomized complete block design. The studied traits were plant height, number of tillers per plant, 1000-grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, and seed zinc content. The software SAS (V9.1) and Excel were used to analyze the data and draw the figures. Means were compared using the FLSD test at a 5% probability level.

Result and discussion:

Analysis of variance results showed that the simple effects of both experimental factors were significant on all studied traits, but none of the interaction effects were significant. Application of 60 kg ha^{-1} of ZS improved all growth and yield parameters of millet, while the highest zinc content in the seed was obtained by applying 90

1- Graduated of M.Sc. in Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2, and 3- Professor, Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, respectively.
4- Assistant Professor, Department of Agronomy(plant and Environmental Stresses Research Group), Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
*- Corresponding Author, Email: mabehdani@birjand.ac.ir

kg ha^{-1}. The highest seed and biological yields (2227 and 7940 kg ha^{-1}, respectively) were obtained by 60 kg ha^{-1} of ZS application, which was 36 and 6.6% higher than the control treatment (no-fertilization), respectively. All studied traits showed an increasing trend with increasing the amount of CM consumption, so that their highest values were obtained when 30 tons ha^{-1} of CM was applied. Seed yield (2564 kg ha^{-1}) at the highest CM level was 138% more than the control treatment and ultimately led to a 14.4% increase in the harvest index.

Conclusion:

Millet (*Panicum miliaceum* L.) is a cereal plant cultivated for its grain, mostly in Asia and North America. It is a warm-season grass with a short growing season and low moisture requirement that is capable of producing food or feed where other grain crops would fail. Chemical fertilizer treatment (NPK) also improved all traits related to plant growth and yield compared to control as well as some other fertilization treatments. Modifying the physical properties of the soil and the availability of nutrients for millet plants can be a major reason for the increased yield and growth of the plant. Also, the results showed that consumption of zinc sulfate at 60 $kg.ha^{-1}$ increased yield and yield components of common millet, but consumption of 90 $kg.ha^{-1}$ of this fertilizer reduced the studied traits. In addition, the results of this experiment showed a significant difference between four levels of manure so that the highest grain yield of studied millet was obtained from 30 tons per hectare of manure. According to the test results, it can be stated that the application of zinc sulfate at a rate of 60 kg per hectare increased the yield and yield components of millet and therefore is introduced as the desired amount of fertilizer to achieve ideal yield.

Keywords: Chemical fertilizer, Fertile tiller, Seed weight, Seed yield, Yield components.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

واکنش رشد و عملکرد ارزن (*Panicum miliaceum* L.) معمولی به مصرف سطوح مختلف کود دامی و سولفات روی

منیره هاسمی[1]، محمدعلی بهدانی[2*]، مجید جامی الاحمدی[3] و حمید رضا فلاحی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۸

هاسمی[1]، م.، بهدانی، م.ع.، جامی الاحمدی، م.، و فلاحی، ح.ر.، ۱۴۰۱. واکنش رشد و عملکرد ارزن (*Panicum miliaceum* L.) معمولی به مصرف سطوح مختلف کود دامی و سولفات روی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۱۱۳-۹۵.

چکیده

کاربرد کودهای دامی به‌همراه عناصر ریز مغذی از جمله راه‌کارهای مناسب جهت دستیابی به اهداف کشاورزی اکولوژیکی است، که می‌تواند تولیدات کشاورزی را در مکان و زمان افزایش دهد و به بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاهان زراعی منجر شود. ارزن (*Panicum miliaceum* L.) گیاهی یک‌ساله است که در مناطق خشک و نیمه خشک رشد می‌کند و بعد از گندم، برنج، ذرت و جو مهم‌ترین گیاه یک‌ساله جهان محسوب می‌گردد و یکی از بهترین محصولات برای تولید علوفه و دانه است. به‌همین دلیل و به‌منظور بررسی اثر کود دامی و سولفات‌روی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند اجرا شد. فاکتورهای ازمایش شامل کود دامی (گاوی) (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) و سولفات‌روی (صفر، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. همچنین، یک کرت شاهد مبتنی بر مصرف کود شیمیایی (NPK) در هر بلوک در نظر گرفته شد و اثر این تیمار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سایر ۱۲ ترکیب تیماری حاصل از مصرف کود دامی و سولفات‌روی مقایسه شد. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و محتوی رویِ بذر بودند. نتایج نشان داد مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی باعث بهبود تمامی شاخص‌های رشد و عملکرد ارزن شد و بیشترین محتوی رویِ موجود در بذر با کاربرد ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار از کود مذکور حاصل شد. بیشترین عملکرد دانه و زیستی در تیمار مصرف ۶۰ کیلوگرم سولفات روی مشاهده شد که در مقایسه با شاهد (بدون کود) به‌ترتیب ۳۶ و ۶/۶ درصد افزایش داشت. بیشترین مقادیر صفات مورد مطالعه با مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد و عملکرد دانه در این سطح کودی ۱۳۸ درصد بیشتر از شاهد بود و در نهایت، منجر به افزایش ۱۴/۴ درصدیِ شاخص برداشت شد. تیمار کود شیمیایی (NPK) در مقایسه با تیمار بدون کود منجر به بهبود تمامی صفات مرتبط با رشد و عملکرد گیاه شد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، پنجه بارور، عملکرد دانه، کود شیمیایی، وزن هزار دانه

مقدمه

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲ و ۳- به‌ترتیب استاد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۴- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات(گروه پژوهشی گیاه و تنش های محیطی)، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(نویسنده مسئول: Email: mabehdani@birjand.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.20322.0

ارزن معمولی (*Panicum miliaceaum* L.) یکی از غلات سنتی در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود که از قدرت تحمل مطلوبی نسبت به تنش‌های خشکی و شوری برخوردار است و در بین غلات پس از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa L.*)، ذرت (*Zea mays* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.) و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در رتبه ششم اهمیت قرار دارد (Habiyaremye Kazemi-Arbat et al., 2009 ; et al., 2017). این گیاه یک‌ساله متعلق به خانواده غلات با ساقه‌های برگ‌دار عمودی است که می‌تواند به ارتفاع بین ۱۰۰–۱۵۰ سانتی‌متر برسد و دارای جنس‌های مختلفی می‌باشد (Omidi et al., 2015). ارزن به مقدار زیادی در آفریقا، هندوستان، چین و بعضی از کشورهای آمریکای جنوبی کشت می‌شود و در ایران نیز زراعت این گیاه به‌خصوص در مناطق گرم و کم‌باران متداول است (Khodabandeh, 2000 ; Habiyaremye et al., 2017;). در بین انواع مختلف ارزن، ارزن معمولی با توجه به‌طول دوره رشد کوتاه و مقاومت به خشکی و کارایی مصرف آب مناسب می‌تواند در یک دوره ۵۰ تا ۶۰ روزه رشد خود را کامل و دانه تولید نماید (Alizadeh-Bonab et al., 2007). به‌دلیل سازگاری ارزن با شرایط نامساعد محیطی و فقر خاک (Azari Nasrabad & Mirzaee, 2012) و همچنین به‌دلیل پربرگی و خوش‌خوراکی، عدم وجود اسید پروسیک، عملکرد مطلوب علوفه، قابلیت کشت در مناطق مختلف (استفاده از اراضی بلا استفاده) آن، این گیاه قابلیت کاشت ایده‌آل برای نواحی گرم را دارا می‌باشد (Izadi Yazdanabadi et al., 2014). با توجه به ویژگی‌های ذکر شده، این گیاه از پتانسیل خوبی جهت کمک به امنیت غذایی ساکنین نواحی خشک و کم‌باران برخوردار است که با مدیریت صحیح زراعی از جمله تأمین نیازهای غذایی آن می‌توان به عملکردهای مطلوبی دست یافت. در نظام‌های کشاورزی پایدار، کاربرد کودهای آلی از اهمیت ویژه‌ای جهت افزایش تولید محصول و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است (Mohammad-Abadi et al., 2012). هرچند استفاده از کودهای شیمیایی به عنوان سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک و حصول عملکرد بالا، در نظر گرفته می‌شود، امّا مزایای حاصل از این نوع نهاده‌ها موقتی بوده و در درازمدت اثر منفی بر بازدهی زمین‌های زراعی بر جا می‌گذارد (Moradi et al., 2011). کیفیت و سلامت محصولات تولید شده با استفاده از کاربرد مواد آلی همچون بقایای گیاهی و کودهای دامی، باعث ترغیب بخش کشاورزی به کاشت محصولات با کاربرد کودهای آلی و استفاده کمتر از کودهای شیمیایی شده است که موجب پایداری نظام کشاورزی گردیده است (Zhou et al., 2005). مصرف کودهای دامی با اتصال ذرات خاک به یکدیگر و تشکیل خاکدانه‌ها باعث بهبود ساختمان خاک می‌شود. بر این اساس، کاربرد کود دامی بر ویژگی‌هایی از قبیل نفوذ آب در خاک، ضریب آب‌گذری و زهکشی خاک و توسعه ریشه تأثیر گذاشته و با بهبود محتوای ماده آلی خاک موجب تضمین سلامت خاک و جوامع ریزجانداران موجود در ریزوسفر می‌شود (Fallahi et al., 2009; Prakash et al., 2007 ;). یافته‌های حاصل از تحقیقی بر روی ارزن نشان داد که مصرف کود دامی (۶۰ تن در هکتار)، کود شیمیایی (اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌ترتیب به‌میزان ۱۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و مصرف تلفیقی آن‌ها منجر به افزایش عملکرد دانه و علوفه گیاه شد (Tavassoli et al., 2010). در پژوهشی بر ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*) گزارش شده که با افزایش مصرف نیتروژن تا میزان ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار، عملکرد تر و خشک کل به‌ترتیب ۷۹/۸ و ۸۱/۲ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف نیتروژن افزایش یافت (Zabet et al., 2015). نتایج آزمایش دیگری نشان داد که برهم‌کنش کود گاوی (۲۵ تن در هکتار) با عنصر روی (۵۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین وزن کل ماده خشک ارزن معمولی را تولید کرد و غلظت عناصر نیتروژن، آهن، روی، بر و مس را در گیاه افزایش داد (Nezhad Hosseini et al., 2011a). ابراهیم و فاتونجی (Ibrahim & Fatondji, 2020) نیز نقش مصرف کود دامی در مناطق خشک را بر بهبود رشد و عملکرد ارزن مفید ارزیابی کردند. نتایج پژوهش دیگری بر روی ارزن نشان داد که کارایی مصرف کودهای معدنی در شرایط استفاده از کودهای آلی بهبود پیدا کرد (Tounkara et al., 2020).

عنصر روی (Zn) یکی از عناصر کم‌مصرفِ ضروری برای رشد و نمو گیاه است که در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها جزء کلیدی بوده و به عنوان کوفاکتور عمل می‌نماید. این عنصر نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و پروتئیناز و تشکیل اسید ریبونوکلئیک و تنظیم‌کننده‌های رشد دارد. همچنین این عنصر در بسیاری از مسیرهای مهم بیوشیمیایی مرتبط با متابولیسم کربوهیدارت‌ها (شامل فتوسنتز و تبدیل قندها به نشاسته)، متابولیسم پروتئین، متابولیسم اکسین، تشکیل دانه گرده، حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی و

همچنین مقاومت به عوامل بیماریزا مؤثر است (Alloway et al., 2008). برخی مطالعات نشان می‌دهد که حدود ۴۰ درصد از اراضی زراعی ایران با کمبود عنصر روی مواجه هستند (Balali et al., 2008). در اراضی دچار کمبود عنصر روی، کاربرد سولفات روی باعث افزایش رشد رویشی و عملکرد گیاه می‌گردد (Rengel & Graham, 1995). در همین راستا، نتایج پژوهشی بر روی ارزن نشان داد که محلول‌پاشی عنصر روی عملکرد بذر این گیاه را از ۱۷۰۱ به ۱۹۰۶ کیلوگرم در هکتار افزایش داد (Javadi et al., 2016). در تحقیق دیگری نیز محلول‌پاشی منفرد و تلفیقی سولفات روی و سولفات منگنز باعث بهبود عملکرد دانه، محتوای عناصر غذایی گیاه و افزایش کمّی و کیفی علوفه تولیدی در گیاه ارزن مرواریدی رقم نوتریفید (*Pennisetum glaucum* L.) شد (Paygozar et al., 2009). در مناطق خشک مشکل کمبود آب به‌عنوان عامل اصلی محدودکننده تولیدات کشاورزی به‌شمار می‌رود و از این‌رو توسعه کاشت گیاهانی مثل ارزن که فصل رشد کوتاه و مقاومت مناسبی به کم‌آبی دارد، می تواند مفید باشد. از طرفی، بسیاری از خاک‌های نواحی خشک از نظر محتوای ماده آلی خاک فقیر هستند، بنابراین، مصرف کودهای آلی نیز می‌تواند ضمن تأمین نیازهای غذایی گیاه، منجر به اصلاح خصوصیات خاک در جهت حفظ محتوای رطوبت و توسعه مناسب گیاه شود. سولفات روی نیز موجب تأمین هم‌زمان نیاز گیاه به روی و بهبود ویژگی‌های خاک از جمله تنظیم واکنش خاک می‌شود. بر این اساس مصرف هم‌زمان این دو نوع کود می‌تواند در بهبود رشد و عملکرد ارزن سودمند باشد که در پژوهش کنونی مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد کود دامی و سولفات‌روی، بر رشد و عملکرد ارزن معمولی، آزمایشی در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۴۸۰ متری از سطح دریا اجرا شد. این منطقه دارای متوسط بارندگی سالانه ۱۲۰ میلی‌متر بوده و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه جزو مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل اجرای آزمایش نمونه‌برداری شد که برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Some fundamental physical and chemical properties of soil of the experimental site

بافت Texrure	سیلت Silt	رس Clay %	شن Sand	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	قابل دسترس نیتروژن N Available nitrogen (%)	پتاسیم قابل جذب K ($mg.kg^{-1}$)	ماده آلی OM (%)	هدایت الکتریکی Ec ($ds.m^{-1}$)	واکنش pH
لوم Loam	۴۰	۲۶	۳۴	12	0.03	250	0.5	5.6	7.5

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کود گاوی (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) و سولفات روی (صفر، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. افزون بر این، در هر تکرار یک کرت به‌عنوان شاهد شیمیایی در نظر گرفته شد. در این تیمار، کود شیمیایی NPK شامل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع اوره)، ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپر فسفات) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (از منبع سولفات پتاسیم) قبل از کاشت مورد استفاده قرار گرفت (Hussain et al., 2010). برای مقایسه آماری این تیمار با ۱۲ ترکیب تیماری حاصل از مصرف کود دامی و سولفات پتاسیم، مجموع ۱۳ تیمار یک‌بار نیز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد مطالعه قرار گرفتند.

ادامه جدول ۱- خصوصیات شیمیایی کود حیوانی

Table 2. Chemical properties of manure

ماده آلی O.M. (%)	منیزیم Mg (%)	کلسیم Ca (%)	سدیم Na (%)	پتاسیم K (%)	فسفر P (%)	نیتروژن N (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
80	0.32	1.9	0.15	2	0.5	2.5	8.5	14

جهت کاشت از ارزن معمولی رقم پیشاهنگ استفاده شد که بذر آن از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی تهیه گردید. زمین مورد نظر جهت اجرای آزمایش، دو هفته قبل از کاشت با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد. در مرحله بعد برای خرد شدن کلوخه‌ها از دیسک و برای از بین بردن شیب زمین از لولر استفاده شد. بعد از این عملیات، کرت‌های آزمایشی با ابعاد ۲×۴ متر ایجاد گردید. فاصله کرت‌ها از هم یک متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر سه متر در نظر گرفته شد. در هر کرت پنج ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۰/۵ متر و فاصله بذرها روی ردیف‌ها دو تا سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد که در آن بذرها به‌صورت دستی در اواسط اردیبهشت ماه کشت شدند. برای هر بلوک یک جوی جهت آبیاری و یک جوی برای تخلیه زه‌آب لحاظ شد. کود دامی قبل از کاشت در سطح کرت‌های مربوطه به‌میزان محاسبه شده بر اساس سطوح تیمارها پخش گردید و پس از اختلاط آن با خاک (تا عمق ۲۵ سانتی‌متری)، اقدام به تهیه جوی و پشته در درون کرت گردید. هم‌زمان با کاشت بذر، کود سولفات‌روی در کرت‌های مربوطه در عمق یک تا دو سانتی‌متر زیر ردیف‌های کشت مصرف شد. جهت تسهیل در سبز شدن گیاه، دو آبیاری اول با فاصله هر سه روز یک‌بار صورت گرفت. بعد از سبز شدن بوته‌ها، آبیاری به فاصله هر هفت روز یک‌بار انجام شد. تنک کردن بوته‌های ارزن جهت رسیدن به تراکم مدنظر (۴۰ بوته در مترمربع: فاصله روی ردیف و بین ردیف به‌ترتیب پنج و ۵۰ سانتی‌متر) در مرحله سه تا چهار برگی انجام گرفت. کنترل علف‌های مزرعه نیز به‌صورت وجین دستی در طی یک مرحله (پنج هفته پس از کاشت) انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری صفات مرتبط با رشد و اجزای عملکرد ارزن، در مرحله پایانی رشد گیاه (زمانی‌که ساقه‌ها و خوشه‌ها به رنگ زرد در آمده بودند و در اوایل مرداد ماه که برداشت انجام گرفت) و پس از حذف اثر حاشیه‌ای (دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای سه ردیف میانی) اقدام به نمونه‌برداری شد. برای این منظور از سه ردیف میانی تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و سپس صفاتی مانند ارتفاع بوته و نیز اجزای عملکرد شامل تعداد پنجه در گیاه، تعداد پانیکول در گیاه، تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه تعیین شد.

برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، تعداد پنجه در بوته و تعداد پانیکول در بوته، پس از در نظر گرفتن و حذف اثرات حاشیه‌ای تعداد پنج بوته انتخاب و ارتفاع گیاه از انتهای ساقه تا محل طوقه با متر اندازه‌گیری شد و سپس شمارش تعداد پنجه در بوته و تعداد پانیکول در بوته انجام گرفت و پس از گرفتن میانگین آن‌ها، عدد نهایی به‌عنوان عدد صفت مورد نظر ثبت گردید، پس از اندازه‌گیری این صفات بوته‌های مذکور برداشت شده و پس از جداسازی پانیکول‌ها (جهت جلوگیری از ریزش دانه‌ها پانیکول‌ها در پاکت‌های مجزا قرار گرفتند) سپس اندام‌های رویشی گیاه به همراه پانیکول‌ها درون آون به‌مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از خشک شدن آن‌ها، میانگین وزن کلی اندام‌های پنج بوته برداشت شده (کلیه اجزای گیاهی برداشت شده از بالای سطح خاک) به‌عنوان عملکرد بیولوژیک ثبت گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه ابتدا جداسازی دانه‌ها از پانیکول صورت گرفت و سپس وزن دانه برای هر بوته یادشت شده و میانگین وزن دانه‌های خشک شده پنج بوته به‌عنوان عملکرد نهایی دانه ثبت گردید و سپس شاخص برداشت بر اساس نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک ضربدر ۱۰۰ به‌دست آمد.

اندازه‌گیری محتوی عنصر روی دانه‌ها: جهت اندازه‌گیری محتوی عنصر روی دانه ابتدا نمونه‌های یک گرمی آسیاب شده از آن‌ها درون بوته‌های چینی قرار داده شدند و سپس در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خاکستر شدند و سپس نمونه خاکسترها در ۱۰ سی سی اسید کلریدریک دو نرمال حل شده و به‌مدت ۳۰ دقیقه روی هات پلات در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از آن نمونه‌ها را با آب مقطر به حجم ۱۰۰ سی سی رسانده و با کاغذ صافی، صاف شدند. از نمونه‌های صاف شده به‌مقدار لازم برداشته و میزان عنصر روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه-گیری گردید.

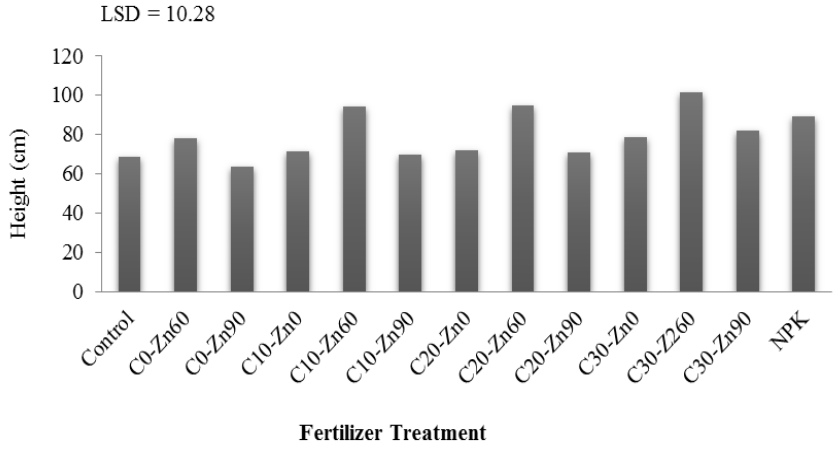
محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.3)، مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. جهت رسم نمودارهای نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج نشان داد که اعمال تیمار سولفات روی به‌طور معنی‌داری ارتفاع ارزن را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بیشترین ارتفاع بوته را ایجاد کرد. این سطح

کودی در مقایسه با شاهد (عدم مصرف کود) مقدار صفت مذکور را ۲۶/۹ درصد افزایش داد (جدول ۳). محققی افزایش ارتفاع گیاه در شرایط فراهمی مناسب عنصر روی را به نقش این عنصر در انجام فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیولوژیکی و به‌عنوان یک هورمون محرک رشد گیاه، نسبت داده‌اند (Rion & Allowy, 2004). با این وجود، با افزایش مقدار کاربرد سولفات روی به ۹۰ کیلوگرم در هکتار، ارتفاع بوته در مقایسه با سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار، ۲۲/۴۶ درصد کاهش یافت (جدول ۳). این موضوع احتمالاً ناشی از اختلال در جذب برخی عناصر غذایی ضروری مانند فسفر، آهن و پتاسیم، اختلال در توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه (کاهش جذب آب و در نتیجه، کاهش رشد اندام‌های هوایی)، کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و القای تنش اکسیداتیو، در شرایطی باشد که غلظت عنصر روی در محیط ریشه بیش از حد افزایش پیدا کرده است (Khavari-Nejad et al., 2011). در همین ارتباط، نتایج تحقیق دیگری نشان داد عنصر روی در غلظت‌های پایین باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Khavari-Nejad et al., 2011)، گندم (Yang et al., 2011) و برنج (Singh & Singh-Shivay, 2015) نسبت به شاهد شد، ولی غلظت‌های بالای این عنصر باعث کاهش ارتفاع گیاه گردید. اثر سطوح مختلف کود دامی نیز بر ارتفاع بوته ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش مقدار مصرف کود دامی منجر به افزایش تدریجی ارتفاع گیاه شد. در بین سطوح مختلف کود دامی اثر مصرف ۳۰ تن در هکتار بر ارتفاع ارزن بیشتر از سایر سطوح بود و موجب افزایش ۱۹/۸۳ درصدی ارتفاع نسبت به تیمار عدم مصرف کود دامی شد (جدول ۴). هم‌راستا با این نتایج، گدا و همکاران (Gowda et al., 2008) بیان کردند که تیمارهای کود گاوی و شاهد (عدم مصرف کود) به‌ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع را در گیاه گندم ایجاد نمودند. از آنجا که فراهمی عناصر غذایی یکی از عوامل اصلی در تعیین ارتفاع نهایی گیاه است، به نظر می‌رسد که عدم مصرف کود گاوی به علت کمبود مواد غذایی موجب کاهش ارتفاع گیاه شده باشد. از طرفی، رشد رویشی گیاه وابستگی شدیدی به محتوای رطوبتی خاک دارد. کودهای آلی با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک باعث ایجاد شرایط مناسب‌تر برای رشد گیاه می‌شوند (Singer et al., 2007). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها جهت مقایسه تیمار کود شیمیایی (NPK) با سایر تیمارهای آزمایش نشان داد که از نظر ارتفاع بوته بین تیمارهای مذکور تفاوت معنی‌داری وجود داشت. ارتفاع ارزن در تیمار مصرف کود شیمیایی نسبت به شاهد ۳۰/۲۳ درصد افزایش یافت. در بین تمامی ۱۳ تیمار کودهای آلی و شیمیایی نیز بیشترین ارتفاع ارزن مربوط به تیمار مصرف هم‌زمان ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که ۱۴/۲۳ درصد نسبت به تیمار کود شیمیایی افزایش نشان داد (شکل ۱).



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر ارتفاع ارزن

Fig. 1- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on millet height

Control: عدم مصرف کود؛ C: کود دامی (تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

Control=no-fertilization; C= cow manure (T.on.ha^{-1}); Zn= zinc sulfate (Kg.ha^{-1}); Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به اثر سطوح مختلف سولفات روی و کود دامی بر رشد، عملکرد و محتوی روی در گیاه ارزن دانه‌ای (رقم پیشاهنگ)

Table 2- Analysis of variance mean of squares for effects of different levels of zinc sulfate and animal manure on growth, yield and zinc content in millet (var. pishahang).

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	آرتفاع گیاه Plant height	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	محتوی روی بذر Seed Zn content
تکرار Replication	2	54.61^{ns}	1.22^{*}	0.76^{*}	0.017^{ns}	32220.6^{ns}	2763283.7^{**}	52.37^{ns}	262.69^{ns}
سولفات روی $ZnSO_4$	2	1625.91^{**}	3.52^{**}	3.57^{**}	0.18^{*}	1285871.31^{**}	2385975.09^{**}	125.33^{**}	1333.54^{**}
کود دامی Manure	3	451.45^{**}	8.8^{**}	7.96^{**}	0.47^{**}	3605210.5^{**}	5777158.68^{**}	328.20^{**}	266.79^{ns}
کود دامی×سولفات روی Manure× $ZnSO_4$	6	38.36^{ns}	0.10^{ns}	0.07^{ns}	0.18^{ns}	14135.31^{ns}	241254.35^{ns}	6.67^{ns}	8.25^{ns}
خطا Error	22	40.36	0.24	0.18	0.03	143385.09	152320.75	20.44	88.29
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	8.07	15.4	10.81	3.75	20.46	5.21	18.63	16.57

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری.

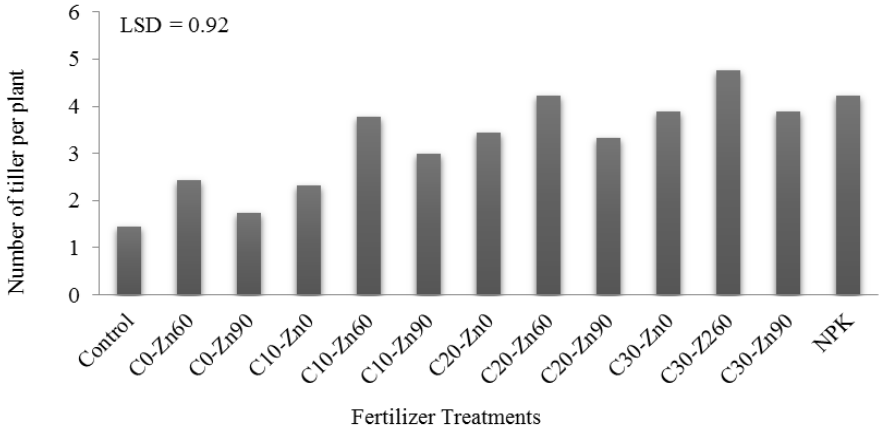
**, * and ns are significant at $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$ probability levels and not significant, respectively.

تعداد پنجه در بوته

اثر مصرف سولفات روی بر صفت تعداد پنجه در بوته ارزن معنی-دار شد (جدول ۲). بیشترین تعداد پنجه از سطح مصرف ۶۰ کیلوگرم سولفات روی حاصل شد که ۳۷/۱۳ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف کود بود. افزایش مقدار مصرف سولفات روی به ۹۰ کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش قابل توجه مقدار این صفت در مقایسه با سطح مطلوب مصرف روی شد (جدول ۳). در تحقیق مشابهی افزایش توان پنجه‌زنی در گیاه برنج (*Orysa sativa* L.) در شرایط فراهمی مناسب عنصر روی گزارش شد (Muhammad et al., 2002). کاربرد کود دامی نیز بر توان پنجه‌زنی ارزن اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). با افزایش سطح مصرف کود دامی، تعداد پنجه در بوته به‌طور تدریجی افزایش یافت. بیشترین مقدار این صفت در تیمار مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد که ۱۲۱/۸ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف کود دامی بود (جدول ۴). در تحقیق مشابهی در گیاه اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) نیز کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود دامی منجر به افزایش قدرت پنجه‌زنی این گیاه شد (Pouryousef et al., 2011). یکی از علل مهم بیشتر بودن تعداد پنجه در شرایط مصرف کود دامی، بهبود حاصل‌خیزی و خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد (Gholamhosseini et al., 2008). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین شاهد شیمیایی (NPK) با سایر تیمارهای تغذیه‌ای تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت ($p\leq$۰/۰۱). در بین تمامی کودهای آلی و شیمیایی مورد استفاده، بیشترین تعداد پنجه مربوط به مصرف توأم ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که نسبت به شاهد شیمیایی و شاهد بدون کود به ترتیب ۱۳/۱۹ و ۲۳۱ درصد افزایش داشت (شکل ۲).

تعداد پانیکول در بوته

تأثیر مصرف سولفات روی بر تعداد پانیکول در بوته ارزن معنی‌دار شد (جدول ۲). کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار از این منبع کودی بیشترین تعداد پانیکول را سبب شد، به‌طوری‌که نسبت به شاهد صفت مذکور را ۲۸/۹۱ درصد بهبود بخشید. اگر چه در سطح مصرف ۹۰ کیلوگرم سولفات روی نیز تعداد پانیکول در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود ۵/۵ درصد بیشتر بود، ولی در مقایسه با سطح مطلوب کودی باعث کاهش ۲۲/۴ درصدی این صفت شد (جدول ۳).



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر تعداد پنجه در هر بوته ارزن

Fig 2. Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on number of tiller per plant

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد. . اختلاف ستون هایی که دارای حروف الفبایی مشابه هستند از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (**LSD**) معنی‌دار نیست.

Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer. Differences of the columns that have the same letters non statistically significant at 5% (LSD)level of significance.

جدول ۳- اثر سطوح مختلف کود سولفات روی بر رشد و عملکرد و محتوی روی در گیاه ارزن دانه‌ای (رقم پیشاهنگ)

Table 3- Effect of ZnSo4 on growth, yield and zinc content in millet (var. pishahang).

سولفات روی ZnSo4	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	محتوای روی بذر Seed Zn content (ppm)
0	72.55	2.77	3.55	5.11	1637.9	7445.7	21.46	45.02
60	92.13	3.80	4.58	5.31	2227.6	7940.7	27.80	50.48
90	71.44	2.99	3.74	5.08	1686.5	7050.8	23.54	65.54
LSD	5.37	0.41	0.37	0.16	320.59	330.43	3.82	0.31

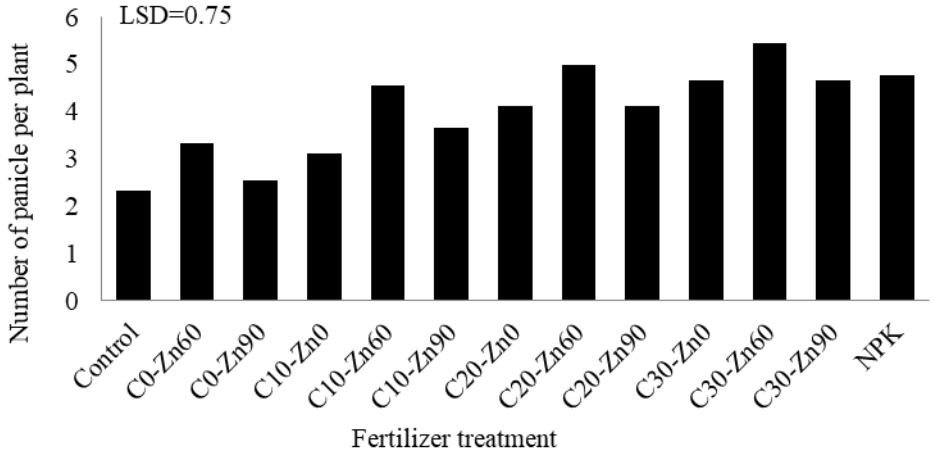
جدول ٤- اثر سطوح مختلف کود دامی بر رشد و عملکرد و محتوی روی در گیاه ارزن دانه‌ای (رقم پیشاهنگ)

Table 4- Effect of manure application on growth, yield and zinc content in millet (var. pishahang).

کود دامی Manure (t.ha^{-1})	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant	وزن هزار دانه 1000-Grain weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	محتوای روی بذر Seed Zn content (ppm)
0	70.03	1.88	2.73	4.87	1076.4	6545.2	16.44	50.06
10	78.33	3.03	3.77	5.13	1668.1	7108.4	23.52	54.51
20	79.10	3.66	4.40	5.24	2093.6	7950.8	26.23	60.13
30	87.36	4.18	4.92	5.42	2564.7	8311.9	30.88	62.02
LSD	6.21	0.48	0.39	0.19	370.19	381.55	4.42	0.36

به نظر می‌رسد هنگامی که غلظت عنصر روی در خاک بیش از حد افزایش یابد، مسمومیت عنصر روی ایجاد گردیده و یا در جذب سایر عناصر غذایی اختلال ایجاد می‌شود. در تحقیق مشابهی، اثرات مطلوب عنصر روی در افزایش تعداد سنبله در گندم توسط ایزدی-خرامه و همکاران (Eizadi-Khorame et al., 2012) گزارش شد. مصرف کود دامی نیز به‌طور معنی‌داری تعداد پانیکول در هر بوته را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی در مقایسه با سطوح ۲۰، ۱۰ و صفر تن از این منبع کودی به‌ترتیب موجب افزایش ۱۱/۸، ۳۰ و ۸۰/۲ درصدی صفت مورد اشاره شد (جدول ۴). این یافته با نتایج شارما و همکاران (Sharma et al., 2003) و یاداو و همکاران (Yadav et al., 2002) مطابقت دارد.

فراهمی مطلوب عناصر غذایی در کود دامی از حیث نوع و مقدار عناصر و نیز زمان آزادسازی آن‌ها از عوامل مؤثر در بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه می‌باشد. نتایج تجزیه آماری جهت مقایسه ۱۲ ترکیب تیماری ناشی از مصرف کود دامی و سولفات روی با شاهد شیمیایی (NPK) نیز حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها بود ($p\leq$۰/۰۱). بیشترین و کمترین تعداد پانیکول در بوته به‌ترتیب مربوط به تیمار ۳۰ تن در هکتار کود دامی + ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و شاهد بدون مصرف کود بود. شاهد شیمیایی نیز در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود تعداد پانیکول در هر گیاه را ۲/۰۴ برابر بهبود بخشید (شکل ۳).



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر تعداد پانیکول در بوته ارزن

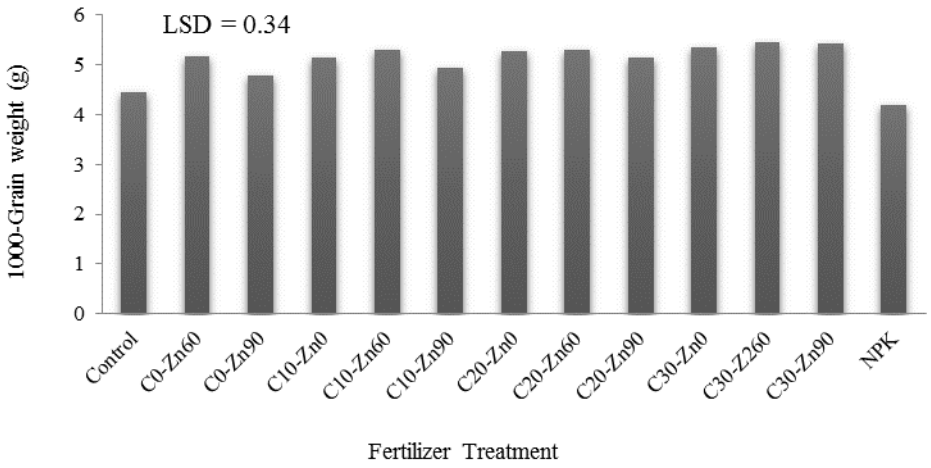
Fig. 3- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on number of panicle per plant

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن درهکتار)، Zn= سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد. . -Control fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

وزن هزار دانه

اثر مصرف سولفات روی بر وزن هزار دانه ارزن معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در بین سطوح سولفات روی بالاترین وزن هزار دانه در تیمار مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و افزایش میزان مصرف این کود به ۹۰ کیلوگرم در هکتار مقدار این شاخص را کاهش داد (جدول ۳). در تأیید نتایج این پژوهش، مهبوبور رحمان و همکاران (Mahbubur Rahman et al., 2011) نیز گزارش کردند که با افزایش مصرف کود سولفات روی وزن هزار دانه در گیاه برنج افزایش یافت. عنصر روی با افزایش تخصیص منابع فتوسنتزی به خوشه‌ها باعث افزایش وزن هزار دانه در آن‌ها می‌شود (Malakooti & Davoodi, 2002). اثر کاربرد کود دامی نیز بر وزن هزار دانه ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش مقدار مصرف کود دامی، وزن هزار دانه افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت در تیمار مصرف ۳۰ تن کود دامی در هکتار حاصل شد که ۱۱/۲ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف کود بود (جدول ۴). نتایج حاصل با یافته‌های نژادحسینی و همکاران (Nejad-

Hosseini et al., 2011b) در خصوص بهبود وزن هزار دانه ارزن در شرایط مصرف کود دامی، مطابقت دارد. افزودن کودهای آلی به خاک باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی، بهبود شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک، ایجاد بستر مناسب برای توسعه ریشه، افزایش دسترسی به عناصر کانی از طریق تنظیم pH خاک و افزایش معنی‌دار ظرفیت نگهداری رطوبت در محیط کشت گیاه می‌شوند (Ahmadian et al., 2010). مجموعه این مزایا، با افزایش قدرت فتوسنتزی گیاه موجب بهبود صفات زایشی از جمله اندازه بذرها می‌شود. آنالیز جداگانه تیمارهای کودی همراه با تیمار کود شاهد شیمیایی (NPK) حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار در بین تیمارهای آزمایشی از نظر وزن هزار دانه بود. بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار مصرف تلفیقی ۳۰ تن در هکتار کود دامی با ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که ۱۷/۶ درصد نسبت به شاهد بدون کود و تنها ۳/۶ درصد در مقایسه با شاهد شیمیایی برتری داشت (شکل ۴). کودهای آلی از نظر بعضی عناصر غذایی از جمله عنصر روی مقداری فقیر هستند و اختلاط آن‌ها با ترکیبات معدنی حاوی این عناصر باعث غنی شدن کود و رشد و نمو و بهتر گیاه می‌شود (Chand et al., 2007).



شکل ٤- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر وزن هزار دانه ارزن

Fig. 4- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on 1000-grain weigh of millet

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن در هکتار)، Zn= سولفات‌روی (کیلو گرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد. .

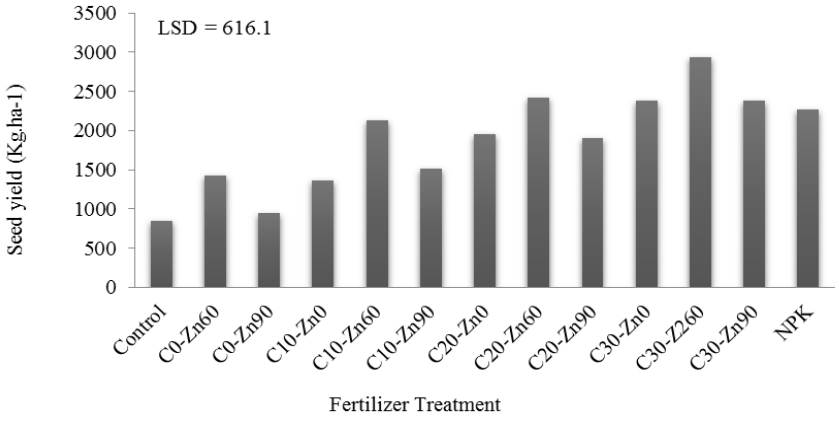
Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنی‌دار سولفات روی و کود دامی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌دست آمد که از افزایش به‌ترتیب ۳۶ و ۳۲ درصدی نسبت به شاهد و سطح ۹۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی برخوردار بود (جدول ۳). همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد سولفات روی در سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش اجزای عملکرد دانه (تعداد پنجه در بوته، تعداد پانیکول در بوته و وزن هزار دانه) گردید که همه این صفات در نهایت، بر عملکرد دانه تأثیرگذار بودند و باعث افزایش عملکرد دانه نیز در این سطح کودی شدند و همان‌طور که در نتایج اجزای عملکرد دانه نیز مشهود بود با افزایش بیشتر میزان سولفات روی به ۹۰ کیلوگرم در هکتار میزان این صفات نه تنها افزایشی نبود، بلکه روند ثابت و تا حدودی کاهشی را دارا بودند که در نتایج عملکرد دانه نیز مشهود می‌باشد. افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف سولفات روی در گیاهان گلرنگ (Ghofran-Maghsud et al., 2014) و کلزا (Bybordi & Malakuti, 2007) گزارش شده است. به‌طور کلی، می‌توان گفت که عنصر روی به‌دلیل نقش مهمی که در متابولیسم پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و همچنین رنگدانه‌های فتوسنتزی دارد، می‌تواند باعث افزایش توان فتوسنتزی و تولید محصول شود، امّا این عنصر نیز همانند سایر عناصر اگر بیش از حد مورد نیاز در دسترس گیاه باشد، ممکن است باعث ایجاد سمیت در رشد و فرایندهای گیاه شود و مصرف بیش از حد این عنصر می‌تواند

سبب کاهش رشد ریشه و اندام هوایی، کاهش جذب سایر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و افزایش بیش از اندازه جذب آهن شود (Malakooti & Davoodi, 2002). همچنین نتایج پژوهشی جوادی و همکاران (Javadi et al., 2016) بر روی ارزن نشان داد که محلول‌پاشی عنصر روی، عملکرد دانه این گیاه را ۱۲ درصد افزایش داد.

اثر سطوح مختلف کود دامی نیز بر عملکرد دانه در گیاه ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش مصرف کود دامی، عملکرد دانه افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت در تیمار مصرف ۳۰ تن کود دامی در هکتار حاصل شد که ۱۳۸/۲ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف کود و به‌ترتیب ۲۲/۳ و ۵۳/۷ درصد بیشتر از سطوح ۲۰ و ۱۰ تن در هکتار کود دامی بود (جدول ۴). غدیری و مجیدیان (Ghadiri & Majidian., 2003) گزارش نمودند که مواد مغذی موجود در کود دامی به‌ویژه نیتروژن در مراحل رشد رویشی و زایشی بالاخص در مرحله پر شدن دانه از طریق تولید شیره پرورده بیشتر، افزایش فتوسنتز و افزایش سطح برگ نقش بسزایی در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت دارد. نتایج این آزمایش با نتایج به‌دست آمده بر گیاه جو (Ofsu & Leitch, 2009) و باقلا (Martin et al., 2006) هم‌خوانی دارد. به‌طور کلی، کودهای آلی با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک خصوصاً در نواحی خشک که مقدار ماده آلی خاک کم است و نیز بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و بهبود فراهمی عناصر غذایی، رشد گیاهان را ارتقاء می‌دهند (Khandan & Astaraee, 2005). نتایج تجزیه واریانس کود شیمیایی NPK و تیمارهای مصرف منفرد و تلفیقی کود دامی و سولفات روی حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی از نظر عملکرد دانه ارزن بود.



شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر عملکرد دانه ارزن

Fig. 5- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on millet grain yield

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

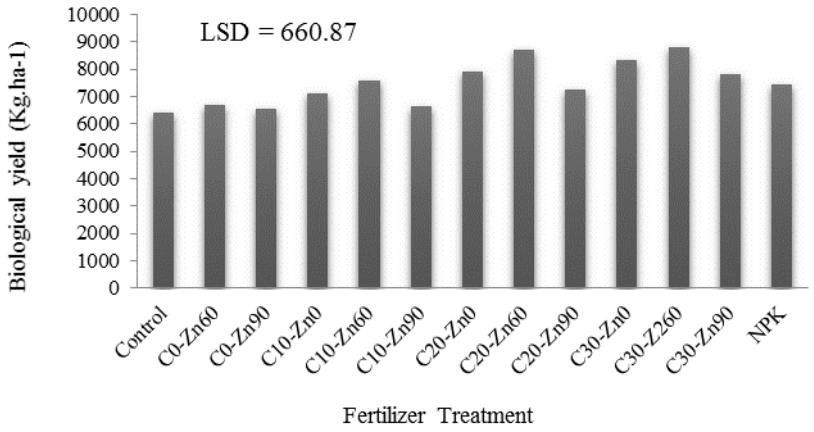
Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

در مورد این صفت نیز مشابه با اجزای عملکرد، بیشترین مقدار مربوط به مصرف هم‌زمان ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود. شاهد شیمیایی (NPK) نیز در مقایسه با شاهد (بدون مصرف هیچ کودی)، از افزایش ۱۶۶ درصدی عملکرد برخوردار بود (شکل ۵). استفاده از سیستم تلفیقی تغذیه با کودهای دامی و شیمیایی باعث می‌شود کود شیمیایی در ابتدای دوره رشد، عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه را فراهم کند و پس از آن در طول دوره رشد با معدنی‌شدن تدریجی عناصر غذایی موجود در کود دامی، نیاز گیاه به‌خوبی تأمین گردد. نقش مثبت مصرف تلفیقی کودهای دامی و شیمیایی در افزایش عملکرد دانه ارزن در تحقیق دیگری نیز تأیید شده است (Tavassoli et al., 2010).

عملکرد زیستی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار مصرف سولفات روی بر عملکرد زیستی ارزن بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیشترین عملکرد زیستی در تیمار مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌دست آمد که حدود هفت درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. افزایش مصرف سولفات روی به سطح ۹۰ کیلوگرم در

هکتار عملکرد زیستی ارزن را کاهش داد (جدول ۳). با توجه به نتایج حاصل شده از این آزمایش می‌توان بیان کرد که عملکرد زیستی بیشتر ناشی از بهبود صفات رویشی و زایشی گیاه از جمله ارتفاع بوته، پنجه‌زنی و تعداد پانیکول در بوته می‌باشد (جدول ۳) که پیش از این اثر مثبت مصرف سولفات‌روی بر این صفات بررسی گردید. در تحقیق دیگری نیز محلول‌پاشی منفرد و تلفیقی سولفات روی و سولفات منگنز باعث بهبود عملکرد زیستی در ارزن مرواریدی شد (Paygozar et al., 2009). کاربرد کود دامی نیز بر عملکرد بیولوژیک ارزن اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). بیشترین عملکرد زیستی از تیمارهای مصرف ۳۰ و ۲۰ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد که به‌ترتیب صفت مذکور را ۲۱/۴ و ۲۷/۰ درصد در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود افزایش داد (جدول ۴). نتایج این تحقیق با یافته‌های نژادحسینی و همکاران (Nejad-Hosseini et al., 2011b) در مورد تاثیر مثبت کود دامی بر افزایش عملکرد ارزن مطابقت داشت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین شاهد شیمیایی (NPK) با سطوح مختلف کود دامی و سولفات روی تفاوت آماری معنی‌داری از نظر عملکرد زیستی ارزن وجود داشت ($p\leq$۰/۰۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد بیولوژیک در شاهد شیمیایی نسبت به شاهد بدون کود ۱۵/۶۳ درصد افزایش داشت (شکل ۶). در تحقیقات دیگری نیز مصرف کودهای شیمیایی حاوی عناصر پرمصرف موجب افزایش عملکرد زیستی ارزن شد (Zabet et al., 2012; Savari et al., 2015).



شکل ٦- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر عملکرد زیستی ارزن

Fig. 6- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on millet biological yield

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی(تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

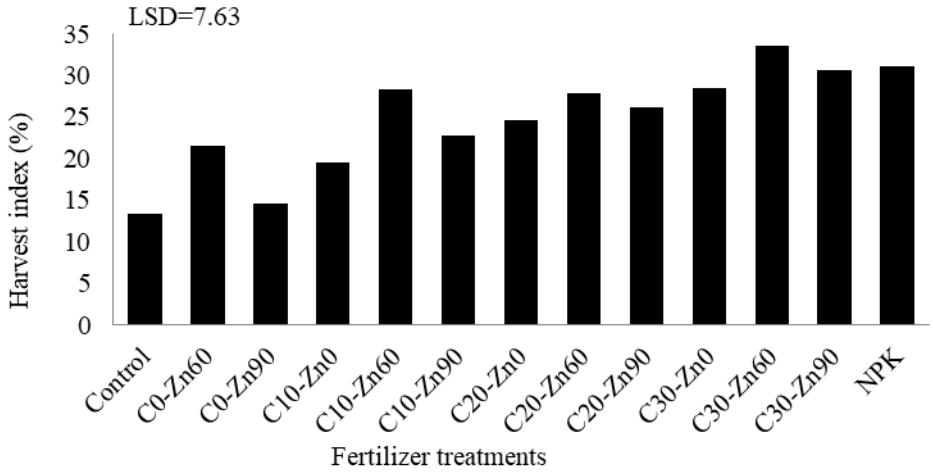
Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

در بین تمامی تیمارهای ۱۳ گانه، بیشترین عملکرد زیستی در شرایط مصرف تلفیقی ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌دست آمد که ۱۸/۴۷ درصد نسبت به شاهد NPK افزایش نشان داد (شکل ۶). در تأیید این یافته‌ها، در تحقیق دیگری مصرف تلفیقی ۲۵ تن در هکتار کود دامی با عنصر روی به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد زیستی ارزن را بهبود بخشید (Nezhad Hoseini et al., 2011a).

شاخص برداشت

اثر کاربرد سولفات روی بر شاخص برداشت ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بیشترین شاخص برداشت را داشت و سطوح صفر و ۹۰ کیلوگرمِ این منبع کودی در یک سطح آماری قرار گرفتند (جدول ۳). میرطالبی و همکاران (Mirtalebi et al., 2012) نیز در پژوهشی اعلام نمودند که سولفات روی باعث افزایش شاخص برداشت در گندم شد که علت را افزایش تعداد سنبله بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه دانستند که در نهایت، منجر به افزایش عملکرد دانه و سپس افزایش شاخص برداشت شده است. اثر کود دامی بر شاخص برداشت ارزن نیز معنی‌داری بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تمامی

سطوح کود دامی مقدار این صفت را نسبت به شاهد افزایش داد و بیشترین شاخص برداشت در سطح مصرف ۳۰ تن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۴). در همین ارتباط اثر مثبت کود دامی بر شاخص برداشت در گیاه کلزا (*Brassuca napus* L.) توسط فلاح (Fallah, 2011) گزارش شده است. نتایج تجزیه واریانس مربوط به کود شیمیایی NPK و سطوح مختلف کودهای دامی و سولفات‌روی نشان داد که تیمارهای مذکور اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت ارزن داشتند (P≤۰/۰۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار مصرف تلفیقی ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی بود و پس از آن شاهد شیمیایی (NPK) قرار گرفت. کمترین مقدار شاخص برداشت نیز در شاهد بدون کود حاصل شد (شکل ۷).



شکل ۷- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر شاخص برداشت ارزن

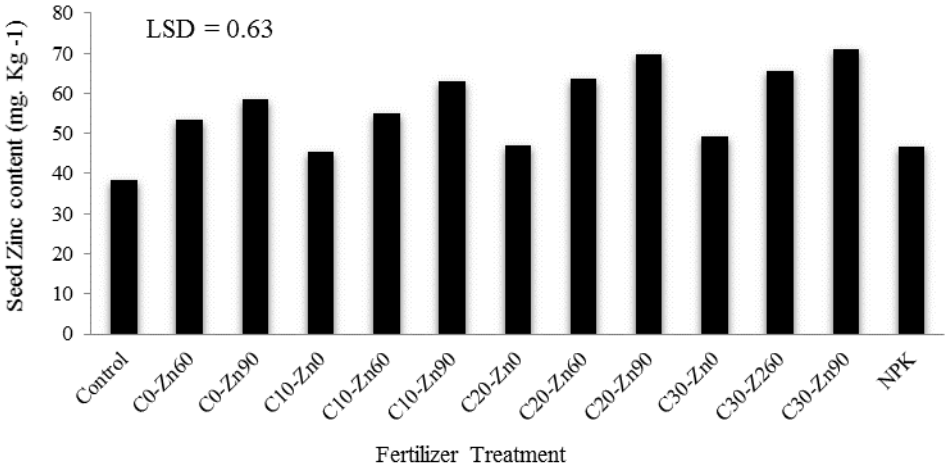
Fig. 7- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on millet harvest index

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer

محتوی عنصر روی بذر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد سولفات‌روی بر محتوی عنصر روی در دانه ارزن معمولی معنی‌دار بود (جدول ۲). مصرف خاکی مقادیر ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم سولفات‌روی به لحاظ تأثیر بر محتوی عنصر روی دانه ارزن در یک سطح آماری قرار گرفتند و هر دو در مقایسه با شاهد منجر به افزایش مقدار این صفت شدند (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد که تحت شرایط آزمایش کنونی مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی برای حصول عملکرد مطلوب کافی بوده و مقادیر بیشتر این کود ضمن افزایش هزینه‌های تولید و آلودگی محیط زیست، احتمالاً با اختلال در جذب سایر عناصر غذایی موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه شده و در بهترین شرایط تنها موجب تجمع تجملی عنصر روی در بذور حاصله خواهد شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر ساده کود دامی و نیز اثر متقابل مصرف کود دامی و سولفات‌روی بر مقدار روی در دانه ارزن معمولی معنی‌دار نبود. نتایج تجزیه واریانس مربوط به کود شیمیایی NPK و سطوح مختلف کودهای دامی و سولفات روی نشان داد که تیمارهای مذکور اثر معنی‌داری بر صفت محتوی روی در دانه ارزن داشتند (P≤۰/۰۱). بیشترین محتوی عنصر رویِ بذر مربوط به تیمار مصرف هم‌زمان ۳۰ تن در هکتار کود دامی با ۹۰ کیلوگرم در هکتار سولفات عنصر روی بود که نسبت به تیمار کود شیمیایی NPK و شاهد (بدون مصرف هیچ کودی) از افزایش به‌ترتیب ۵۲/۷ و ۸۶ درصدی برخوردار بودند (شکل ۸).



شکل ۸- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر محتوای روی در بذور ارزن

Fig. 8- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on zinc content in millet seeds

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد تمامی سطوح کود دامی به‌خصوص مقدار ۳۰ تن در هکتار، موجب بهبود تمامی شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه ارزن دانه‌ای رقم پیشاهنگ شد. می‌توان نتیجه گرفت که مصرف کود دامی با فراهمی عناصر غذایی موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شده است. همچنین نتایج نشان داد مصرف سولفات روی به‌میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ارزن دانه‌ای گردید، ولی مصرف مقدار ۹۰ کیلوگرم در هکتار از این کود نه تنها باعث افزایش میزان صفات مورد مطالعه نشد، بلکه در بیشتر موارد میزان صفات را کاهش داد. همچنین نتایج نشان داد که مصرف خاکی مقادیر ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم سولفات-روی به لحاظ تأثیر بر محتوی عنصر روی دانه ارزن در یک سطح آماری قرار گرفتند و هر دو در مقایسه با شاهد منجر به افزایش مقدار این صفت شدند که این نتایج نشان می‌دهد کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی برای حصول عملکرد مطلوب کافی بوده و مقادیر بیشتر این کود ضمن افزایش هزینه‌های تولید و آلودگی محیط زیست، احتمالاً با اختلال در جذب سایر عناصر غذایی موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه شده و در بهترین شرایط تنها موجب تجمع تجملی عنصر روی در بذور حاصله خواهد شد. نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌دست آمد که از افزایش به‌ترتیب ۳۶ و ۳۲ درصدی نسبت به شاهد و سطح ۹۰ کیلوگرم در هکتارِ سولفات روی برخوردار بود و از آن‌جایی که کاربرد سولفات روی در سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش اجزای عملکرد دانه (تعداد پنجه در بوته، تعداد پانیکول در بوته و وزن هزار دانه) گردید و از آن‌جایی که این صفات در نهایت، بر عملکرد دانه تأثیرگذار بودند، لذا عملکرد دانه نیز در این سطح کودی افزایش داشت و این افزایش عملکرد گیاه منجر به افزایش شاخص برداشت هم گردید. با توجه به نتایج آزمایش، می‌توان بیان کرد که مصرف سولفات روی به‌میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ارزن دانه‌ای شده و بنابراین، به‌عنوان میزان کودی مطلوب جهت رسیدن به عملکرد ایده-ال معرفی می‌گردد.

سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Ahmadian, A., Ghanbari, A., Siahsar, B., Heidari, M., Ramroodi, M., and Mousavi Nik, M., 2010. Residual effect of chemical and animal fertilizers and compost on yield, yield components, physiological characteristics and essential oil content of *Matricaria chamomilla* L. under drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 8(4): 668-676. (In Persian with English Summary)

Alizadeh-Bonab, G., Golazani, K., and Taghizadeh, S., 2007. Investigation of salinity and temperature effects on germination, seedling growth and ion relation of *Panicum miliaceaum*. Journal of Pajouhesh and Sazandegi. 74: 115-122. (In Persian with English Summary)

Alloway, B.J., 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition (Second Ed.). IZA and IFA Publication. Brussels, Belgium and Paris, France.

Azari Nasrabad, A., and Mirzaee, A.R., 2012. Effect of sowing date on grain yield and yield components of foxtail millet (*Setaria italica*) promising lines. Seed and Plant Production 28(1): 95-105 (In Persian with English Summary)

Balali, M.R., Malakouti, M.J., Mashayekhi, H.H., and Khademi, Z., 2008. Effect of micronutrient on increasing yield and determining their critical limit in irrigated wheat fields in Iran. Journal of Water and Soil 12(6): 111-119. (In Persian)

Baybordi A., and Malakouti, M.J., 2007. Effects of zinc fertilizer on the yield and quality of two winter varieties of canola. Zinc crops, International Congress of Improving Crop Production and Human Health, 24–26 May, Istanbul, Turkey.

Chand, S., Pande, Prasad, P.A., Anwar, M., and Patra, D.D., 2007. Influence of intergrated supply of vermicompost and Zinc-eniched compost with two graded levels of Iron and zinc on the productivity of Geranium. Communications in Soil Science and Plant Analysis 38: 2581-2599.

Eizadi-Khorame, H., Balouchi, H. andShabani, S., 2012. Effect of soil application of Fe and $ZnSO_4$ on grain yield and yield components of wheat at different sowing dates. Journal of Plant Ecophyisology 4(1): 37-46. (In Persian with English Summary)

Fallah, S., 2011. Recovery of residual fertilizer nitrogen by canola in a winter canola-forage maize rotation. Journal of Agroecology 1(2): 75-83. (In Persian with English Summary)

Fallahi, H.R., Koocheki, A., and Rezvani Moghaddam, P., 2009. Investigating the effect of organic fertilizers on quanity index and the amount of essential oil and chamazulen in chamomile (*Matricaria recutita*). Agricultural Research 8(1): 157-168. (In Persian with English Summary)

Ghadiri, H., and Majidian, M., 2003. Effect of different level of N and moisture level in the milking stage on yield, yield component and use water efficiency of *Zea mays*. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources 2: 113-103.

Gholamhosseini, M., Ghalavand, A., and Jamshidi, A., 2008. The Effect of irrigation regimes and fertilizer treatments on grain yield and elements concentration in leaf and grain of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pajouhesh and Sazandegi 79: 91-100. (In Persian with English Summary)

Ghofrani-Maghsud, S., Mobasser, H.R., and Fanaei, H.R., 2014. Effect of foliar application and time foliara pplication microelements (Zn, Fe, Mn) on safflower. Journal Applied Science 3(4): 396-399.

Gowda, C., Biradar Patil, N.K., Patil, B.N., Awaknavar, J.S., Ninganur, B.T., and Hunje, R., 2008. Effect of organic manures on growth, seed yield and quality of wheat. Karnataka Journal Agriculture Science 21: 366-368.

Habiyaremye, H., Matanguihan, J., D'Alpoim Guedes, J., Ganjyal, G.M., Whiteman, M.R., Kidwell, K.K., and Murphy, K.M., 2017. Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) and its potential for cultivation in the Pacific Northwest, U.S.: A review. Frontiers in Plant Science 7: 1961.

Hussain S., Aamer M., and Rahmatullah A., 2010. Increasing grain zinc and yield of wheat for the developingworld: A review. Emirates Journal of Food Agriculture 22(5): 326-339.

Izadi Yazdanabadi, F., Esmailakhlamd, U., Omidi, A., and Bedhani, M.A., 2014. Evaluation the quality of *Setaria italica* L. P. Beauv in different stages of growth. Agroecology Journal 5(3): 282-288.

Javadi, H., Seghatoleslami, M.J., and Mousavi, G., 2016. Effect of foliar applization of iron, zinc and manganese on quantitative and qualitative characteristics of two cultivars of grain millet. Journal of Crop Production and Processing. 21(6): 121-132 (In Persian with English Summary)

Kazemi-Arbat, H., 2009. Specific Agronomy (Cereals). University Publishing Center Press. 422 p. (In Persian)

Khandan, A., and Astaraee, A., 2005. Effects of organic (municipal waste compost, manure) and fertilizers on some

physical properties of soil. Desert 10(1): 361-368. (In Persian with English Summary)

Khavari-Nejad, R., Najafi, F., and Firoozeh, R., 2011. The effects of zinc sulphate on certain physiological parameters in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plant. Journal on Plant Science Researches 21(1): 1-14. (In Persian with English Summary)

Khodabandeh. N., 2000. Cereal Production. University of Tehran Press, Tehran, Iran. 572 p. (In Persian)

Mahbubur Rahman, K.M., Abul Khair Chowdhury, M.D., Sharmeen, F., Sarkar, A., Hye, M.A., Biswas, G.Ch., 2011. Effect of zinc and phosphorus on yield of *Oryza sativa* (cv. BR-11). Bangeladesh Research Publication Journal 5(4) 351-358.

Malakooti, M.J., and Davoodi, M.H., 2002. Zinc in Agriculture (A Forgotten Element in the Life Cycle of Plants, Animals and Humans). Sana Press. Tehran. 209 p. (In Persian)

Martin, E.C., Slack, D.C., Tannksley, K.A., and Basso, B., 2006. Effect of fresh and composted dairy manure applications on alfalfa yield and the environment in Arizona. Agronomy Journal 98: 80-84.

Mirtalebi, S.H., Hosseini, S.M., Khajehpour, M.R., and Soleymani, A., 2012. Effects of zinc sulfate on yield, yield components, zinc and protein content of three winter wheat cultivars in the Eghlid of Fars province. Journal of Water and Soil Conservation 19(3): 185-199. (In Persian with English Summary)

Mohammad-Abadi, A.A., Rezvani Moghaddam, P., Fallahi, H.R, and Bromand Rezazadeh, Z., 2012. Effect of chemical and organic fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) forage. Journal of Agroecology 3(4): 491-499. (In Persian with English Summary)

Moradi, R., Nassiri Mahallati, M., Rezvani Moghaddam, R., Lakzian, A. and Nezhadali, A., 2011. The effect of application of organic and biological fertilizers on quantity and quality essential oil of *Foeniculum vulgare* Mill. (Fennel). Journal of Horticultural Science 25(1): 25-33. (In Persian with English Summary)

Muhammad, A., Niaz, A., Maqsood, J. and Iftikhar, A., 2002. Effect of zinc, iron and manganese on growth and yield of rice (*Oryza Sativa* L.*).* Pakistan Journal of Agricultural Science 39(3): 177-180.

Nezhad Hoseini, T., Astaraei, A.R., Khorasani, R., and Emami, H., 2011a. Comparison of two organic fertilizers along with Zn and B elements on concentration, uptake of nutrients and some growth parameters in millet (*Panicum miliaceum* L.). Journal of Agroeocology 3(1): 17-24. (In Persian with English Summary)

Nejad-Hosseini, T., Astaraei, A.R., Khorasani, R., and Emami, H., 2011b. Effect of two organic manures, zinc and boron on yield, yield components and grain chemical composition in millet. Iraninan Journal of Field Crop Research. 9(1): 70-77. (In Persian with English Summary)

Ofosu-Anim, J., and Leitch, M., 2009. Relative efficacy of organic manures in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) production. Australian Journal of Crop Science 3(1): 13- 19.

Omidi, A., Izadi Yazdanabadi, F., Esmaeilpour, U., Behdani, M.A., and Aslani, M.R., 2015. Hepatotoxicity in sheep and goats caused by experimental feeding with foxtail millet (*Setaria italica*). Iranian Journal of Veterinary Medicine. 9(2): 79-86. (In Persian).

Paygozarm, Y., Ghanbari, A., Heydari, M., and Tavassoli, A., 2009. Effect of foliar application of microbutrents on aualitative and auantitative charactristics of pearl millet (*Pennisetum glacum*) under drought stress. Journal of Crop Ecophysiology 10(3): 67-79 (In Persian with English Summary)

Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaee-Chi, M.R., Rahimi, A., and Tavakkoli, A., 2011. Effect of different soil fertilizing treatments on some of agro morphological traits and mucilage of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk). Journal of Crop Production 3(2): 193-213. (In Persian with English Summary)

Prakash, V., Bhattacharyya, R., and Selvakumar, G., 2007. Long-term effects fertilization on some properties under rainfed soybean-wheat cropping in the Indian Himalayas. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170: 224-233.

Rengel, Z., and Graham, R.D., 1995. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil. Grow Vegetables 173: 259-266.

Rion, B., and Allowy, J., 2004. Fundamental aspects of Zinc in soils and plant. International Zinc Association 23: 1-128.

Savari, S., Madani, H., Gomarian, M., and Najarchi, M., 2012. Study of irrigation time and nitrogen fertilizer on leaf appearance ratio and yield in Pishkam millet cultivar. Journal of Crop Production Research 3(4): 421-429 (In Persian with English Summary)

Sharma, A.K., 2003. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Updesh Purohit for Agrobios, Jodhpur, 41-46. India.

Singh, A., and Y. Singh-Shivay., 2015. Zinc application and green manuring enhancesgrowth and yield in basmati rice

(*Oryza sativa* L.).Indian Journal of Plant Physiology 20(3): 289-296.

Singer, W.J., Sally, S.D., and Meek, D.W., 2007. Tillage and compost effects on corn growth, nutrient accumulation, and grain yield. Agronomy Journal 99(1): 80–87.

Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadi, M.M., and Heydari, M., 2010. The effect of fertilizer and manure on forage and grain yield of millet (*Panicum miliaceum*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) in intercropping. Iranian Journal of Field Crops Research 8(2): 203-212. (In Persian with English Summary)

Tounkara, A., Clermont-Dauphin, C., Affholder, F., Ndiaye, S., Masse, D., and Cournac, L., 2020. Inorganic fertilizer use efficiency of millet crop increased with organic fertilizer application in rainfed agriculture on smallholdings in central Senegal. Agriculture, Ecosystems and Environment 294(1): 106878.

Yadav, R.D., Keswa, G.L., and Yadva, S.S., 2002. Effect of integrated use of FYM and urea and sulphur on growth and yield of Isabgol (*Plantago ovata*). Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 25: 668-671.

Yang, X.W., Tian, X.H., Gale, W.J., Cao, X.Y., Lu, X.C., and Zhao, A.Q., 2011. Effectof soil and foliar zinc application on zinc concentration and bioavailability inwheat grain on potentially zinc deficient soil.Cereal Research Communication 39: 535-543.

Zabet, M., Bahamin, S., Ghoreisi, S., Sadeghi, H., and Moosavi, S.G., 2015. Efect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on quantitative yield of aboveground part of forage pear millet (*Pennisetum glaucum*) in Birjand. Environmental Stresses in Crop Science 7(2): 187-194 (In Persian with English Summary)

Zhou, D.M., Hao, X.Z., Wang, Y.J., Dong, Y.H., and Cang, L., 2005. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. Chemosphere 59: 167-175.