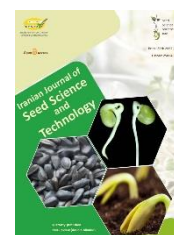




## Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

### Research Article

## Investigating the effect of different amounts of sulfur and zinc on the seed yield of hybrid Monogerm sugar beet (Shirin cultivar)

Saeed Sadeghzadeh Hemayati<sup>1\*</sup> , Vodod Saidnia<sup>2</sup> , Ghasem Parmoon<sup>3</sup> 

1. Associate Professor, Institute of Sugar Beet Research and Seed Production, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Karaj, Iran.
2. Researcher at Alarough Agricultural and Natural Resources Research Station (Ardebil), Agricultural Research and Natural Resources Center of Ardebil Province (Moghan), Ardebil, Iran.
3. Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.

### Article Information

Received: 07 Apr. 2024

Revised: 27 Nov. 2024

Accepted: 28 Dec. 2024

#### Keywords:

Micronutrients,  
Viability,  
Hybrid seed,  
Monogermity,  
Seed yield.

Corresponding Author:

[s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir](mailto:s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir)

### Abstract

This study was conducted to investigate the role of application of sulfur and zinc on commercial seed yield of sugar beet Monogerm cultivar in a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications. The experimental treatments included sulfur (0, 200, and 400 kg/ha) and zinc (0, 20, and 40 kg/ha from the source of sulfate zinc). The results showed that sulfur on the seed yield and commercial seed yield, as well as the interaction effect of sulfur and zinc, had a significant effect on seed yield alone. With the application of 400 kg/ha sulfur, the raw seed yield increased by 17% and the commercial seed yield increased by 54%. The highest raw seed yield (3443 kg/ha) was obtained with the application of 400 kg/ha of sulfur and 40 kg/ha of zinc. The simultaneous application of sulfur and zinc led to an increase in the proportion of oversized seeds and standard seeds, and a decrease in the proportion of undersized seeds. The highest percentage of oversized seeds (32%) and standard seeds (40%) was obtained with the application of 400 kg/ha of sulfur. The application of 400 kg/ha of sulfur resulted in a 6% and 12% increase in mechanical and physiological viability and a decrease of 41% in hollow seeds and 3% in Monogermity compared to the control. Overall, it was determined that sulfur improved both the quantitative and qualitative aspects of sugar beet seed production, while zinc only increased the quantity of seed produced. Under the conditions of this study, the combination of 400 kg/ha of sulfur and 40 kg/ha of zinc was recommended.

**How to cite this paper:** Sadeghzadeh Hemayati, S., Saidnia, V., & Parmoon, G. (2025). Investigating the effect of different amounts of sulfur and zinc on the seed yield of hybrid Monogerm sugar beet (Shirin cultivar). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (1), 107-126. <https://doi.org/10.22092/ijst.2024.365398.1520>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Sugar beet is a plant with high nutritional value and a significant sugar production capacity, which grows without stems in its first year and begins flowering in its second year. The seed quality of this plant is influenced by genetic and ecological factors and includes features such as genetic stability and uniformity. Attention to the nutritional needs of the mother plant and the availability of nutrients facilitates the improvement of seed quality. Micronutrient deficiencies in the soil are common due to agricultural activities and excessive use of phosphate fertilizers, with elements like iron and zinc being influential in plant growth. Sulfur is an essential element for life and plays a crucial role in the formation of amino acids cysteine and methionine. Sulfur deficiency can lead to reduced plant performance and may cause symptoms such as yellowing and weakness in leaf growth. Additionally, zinc is another element that is involved in many enzymatic reactions, and its deficiency can result in reduced yield and protein concentration. Zinc deficiency is common in soils with inappropriate pH, and the use of zinc sulfate can help improve seed and oil yield in plants.

### Materials and Methods

The experiment was conducted factorially in the form of a completely randomized block design with three repetitions. The experimental treatments included different levels of sulfur at three rates (zero, 200, and 400 kg of sulfur per hectare) and zinc at three rates (zero, 20, and 40 kg of zinc per hectare). Each plot comprised six planting rows spaced 75 centimeters apart and six meters long, with the two outer rows designated for the paternal parent (pollinator) and the four inner rows assigned for the maternal parent (sterile male). The spacing between plants in the planting rows was 40 cm. The studied variety was the classic sweet Monogerm variety, classified among classic sugar beet varieties (Z).

### Results and Discussion

The results indicate that applying 200 and 400 kg of sulfur per hectare increased plant height by 8% and 23%, respectively. Sulfur enhances cell division and elongation, promoting plant growth. A deficiency in sulfur decreases the production of photosynthetic pigments and growth, while its application helps release

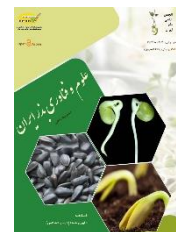
nutrients like phosphorus and zinc, easing root access. The interaction between sulfur and zinc significantly affected the number of main branches, with 400 kg of sulfur leading to the highest counts (2.9 main and 34.9 secondary branches). Zinc reduced the number of main branches when sulfur was absent but had a positive impact when sulfur was present. Sulfur application also significantly increased seed dry matter and total biomass at the 5% level, achieving 175 g of seed dry matter and 545 g of total biomass with 400 kg sulfur. The provision of sulfur enhances photosynthesis and dry weight. The study found that the harvest index wasn't significantly influenced by treatments, likely because both biological and seed yield increased similarly. The raw and economic seed yield increased significantly with sulfur, with 200 kg leading to a 36% rise and 400 kg to a 68% rise in sellable seeds. The combination of sulfur and zinc further improved raw seed yield, with optimal results at 400 kg sulfur and 40 kg zinc. Zinc deficiency can disrupt pollination and production of indole-3-acetic acid, affecting seed quality. Sulfur was found to impact the yield of standard-sized seeds positively, with 400 kg resulting in a 13% increase in proportion and 32% in yield. It also influenced the timing of seed filling and photosynthetic material quantity. The study emphasizes that sulfur nutrition enhances photosynthesis, seed maturation, and the efficiency of nitrogen and other nutrients. Gradual harvesting methods were found to maintain seed quality and yield more effectively compared to single harvesting, underscoring the importance of proper management practices for maximizing plant

### Conclusion

The results showed that the application of sulfur separately had a significant impact on most traits affecting sugar beet seed production, especially at a rate of 400 kilograms per hectare, leading to increased values of these traits. However, the simultaneous application of sulfur with zinc only affected the main stem numbers, raw seed yield, and monogermity. The combined application of these two elements resulted in increased seed production, but it did not significantly affect the quality of the produced seeds. This indicates a greater role of sulfur and a lesser role of zinc in improving the seed quality of sugar beets.



## نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

## بررسی تأثیر مقادیر مختلف گوگرد و روی بر تولید بذر هیبرید منوژرم چغندر قند (رقم شیرین)

سعید صادقی زاده حمایتی<sup>۱\*</sup>، ودود ساعدنیا<sup>۲</sup>، قاسم پرمون<sup>۳</sup>

۱. دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲. محقق ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آلاروق (اردبیل)، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، اردبیل، ایران.
۳. استادیار، بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.

## اطلاعات مقاله

## چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۸

## واژه‌های کلیدی:

عناصر ریزمغذی،

قوه نامیه،

بذر منوژرم،

عملکرد بذر قابل فروش

## نویسنده مسئول:

[s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir](mailto:s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir)

این تحقیق با هدف بررسی نقش مصرف همزمان گوگرد و روی بر تولید تجاری بذر منوژرم چغندر قند، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل غلظت‌های گوگرد پاستیلی (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) و روی (صفر، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات روی) بود. نتایج نشان داد، کاربرد گوگرد بر عملکرد بذر خام و بذر قابل فروش و اثر متقابل گوگرد در روی تنها بر عملکرد بذر خام معنی‌دار بود. با مصرف ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، عملکرد بذر خام ۱۷ درصد و بذر قابل فروش ۵۴ درصد افزایش یافت. بالاترین عملکرد بذر خام (۳۴۴۳ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۴۰ کیلوگرم در هکتار روی به دست آمد. مصرف گوگرد موجب افزایش سهم و عملکرد بذرهای طبقه بالای اندازه استاندارد و اندازه استاندارد و کاهش سهم و عملکرد بذر زیر سرند شد. بیشترین درصد بذرهای بالای اندازه استاندارد (۳۲ درصد) و اندازه استاندارد (۴۰ درصد) در مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بدست آمد. مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، موجب افزایش ۶ درصدی قوه نامیه مکانیکی، ۱۲ درصد قوه نامیه فیزیولوژیکی (جوانه زنی استاندارد) و کاهش ۴۱ درصدی بذرهای پوک و ۳ درصدی منوژرمیته نسبت به شاهد شد. به طور کلی مشخص شد که گوگرد موجب بهبود کمی و کیفی بذر تولیدی چغندر قند شد، ولی عنصر روی تنها موجب افزایش میزان بذر تولیدی شد. در شرایط این مطالعه، مصرف ترکیب ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۴۰ کیلوگرم در هکتار روی، قابل توصیه بود.

## نحوه استناد به این مقاله:

Sadeghzadeh Hemayati, S., Saidnia, V., & Parmoon, G. (2025). Investigating the effect of different amounts of sulfur and zinc on the seed yield of hybrid Monogerm sugar beet (Shirin cultivar). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (1), 107-126. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2024.365398.1520>

## مقدمه

چغندر قند یکی از گیاهان با ارزش غذایی بالا و توان تولید شکر زیاد است که کاربردهای متنوعی، از جمله تولید الکل از ملاس و استفاده از تفاله و برگ‌ها در تغذیه دام دارد (Aljabri et al., 2021; Levandovskiy & Myhailiyk, 2017). چغندر قند یک گیاه دوساله که در سال اول بدون تشکیل ساقه رشد می‌کند و قند در ریشه‌ها تجمع می‌یابد (Muldebekova et al., 2022). در سال دوم پس از بهاره‌سازی، رشد زایشی و تولید ساقه‌های گل‌دهنده آغاز می‌شود. کیفیت بذر چغندر قند یکی از عوامل تعیین‌کننده عملکرد ریشه است و دما و طول روز نیز بر رشد گیاه و تولید گل تأثیر گذارند (Ajam Hosiny, 2021).

کیفیت بذر معمولاً توسط شاخص‌های از قبیل پایداری ژنتیکی و ساختاری، همچنین یکنواختی و سرعت بالایی، ویگور بالای بذر و عاری بودن آن از آفات و بیماری‌ها تعریف می‌کنند. عواملی از قبیل ژنتیکی و اکولوژی یک بر کیفیت بذر تأثیر گذار است. قوه‌نامه مکانیکی به بذرها گفته می‌شوند که ساختار ریخت‌شناسی آنها کامل و بذر دارای جنین سالم می‌باشد. قوه‌نامه مکانیکی معمولاً با شکستن بذر و بررسی چشمی آن قابل تشخیص است، این در حالی است که قوه‌نامه فیزیولوژیکی یا جوانه‌زنی استاندارد به حالتی گفته می‌شود که بذر قادر به جوانه‌زنی و خروج ریشه‌چه باشد. تفاوت بین قوه‌نامه مکانیکی و فیزیولوژیکی می‌تواند به‌عنوان میزان خواب بذر در نظر گرفته شود (Chegini & Etihad, 2012).

توجه به نیازهای غذایی گیاه مادری و فراهمی مواد غذایی مورد نیاز گیاه از مهمترین نکات مدیریتی جهت بهبود کیفیت بذر به شماره می‌آید. تغذیه معدنی گیاهان هنوز یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده تولید بوده و کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف در سطح جهان گسترده است (Martins et al., 2020). از جمله عوامل اصلی بروز کمبود عناصر ریزمغذی در خاک‌ها می‌توان به فعالیت مداوم کشاورزی، مصرف زیاد کودهای فسفاته، خاک‌های آهکی و عدم استفاده از ریزمغذی و کودهای آلی می‌باشند (Alloway, 2009). بعضی از عناصر معدنی، از جمله آهن، بور، روی، منگنز، گوگرد و مس، در رشد و نمو گیاه نقش بسیار مهمی دارند (Mahawar et al., 2023).

گوگرد یک عنصر ضروری برای تمام شکل‌های حیات است و بیشتر محصولات به اندازه فسفر به گوگرد نیاز دارند و کمبود آن می‌تواند به کاهش عملکرد گیاه منجر شود. گوگرد نقش مهمی در تشکیل اسید آمینه‌های ضروری سیستین و متیونین دارد که از جمله اسید آمینه‌های ضروری هستند (Andrés-Barrao et al., 2021; Friemel et al., 2017). علاوه بر این، گوگرد برخی آنزیم‌های اصلی را فعال می‌کند و در ساختار کلروفیل و پروتئین‌ها و در حفظ و پایداری پروتئین‌ها نقش دارد. به نظر می‌رسد که گروه‌های سولفیدریل در مقاومت پروتوپلاسم به سرما و خشکی نقش مهمی دارند و در انتقال انرژی نیز می‌تواند نقشی مانند فسفر ایفا کند (Pan et al., 2022). زرد شدن برگ‌های جوان‌تر در مراحل ابتدایی رشد، ضعیف شدن رشد برگ‌ها و ارغوانی شدن پشت برگ از علائم کمبود گوگرد در گیاه می‌باشد. مطالعات نشان داده است که استفاده از کود نیتروژن به مقدار زیاد بدون اضافه کردن گوگرد در خاک‌هایی آهکی، منجر به افزایش عملکرد نخواهد شد (Liu et al., 2020; Miyatake et al., 2019). طبق بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد، کاربرد همزمان گوگرد و نیتروژن موجب بهبود تعداد خورجین در بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد دانه در خورجین و عملکرد روغن در کلزا شد (Ahmad et al., 2012). همچنین مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، عملکرد دانه، مقدار روغن و پروتئین دانه در ارقام و گونه‌های مختلف براسیکا را افزایش داد (Malhi et al., 2007). (Hesami 2018). نیز در بررسی کاربرد اوره و گوگرد بر عملکرد چغندر قند گزارش نمود که مصرف کود موجب بهبود رشد اندام هوایی، ریشه و عیار قند شد. (Khan et al., 2021) نیز گزارش نمودند که گوگرد دارای نقش موثری در افزایش تحمل چغندر به بیماری‌های پوسیدگی ریشه (*Pythium ultimum*) دارد. (Motamedi 2006) نیز در بررسی تأثیر گوگرد و بر روی کیفیت بذر گندم نان گزارش نمودند، گوگرد با افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرف و فسفر موجب بهبود کیفیت بذر تولیدی شد.

روی یکی دیگر از عناصر ضروری مورد نیاز گیاه است. این عنصر در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاهان نقش کاتالیزوری فعال‌کننده یا ساختمانی دارد و در ساخته شدن و تجزیه پروتئین‌ها

در کیلومتر ۱۰ جنوب شرق اردبیل (روستای آلاروق) اجرا و کارهای آزمایشگاهی آن در آزمایشگاه کنترل بذر اداره اصلاح و تهیه بذر چغندر قند اردبیل در سال ۱۳۹۷ انجام شد. اردبیل (با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی) از لحاظ اقلیمی در منطقه بحری تا نیمه بحری و نیمه مرطوب با زمستان‌های خیلی سرد و بهار و تابستان‌های معتدل در ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا و با میانگین بارندگی سالیانه حدود ۳۱۰ میلی‌متر، دارای شرایط مناسبی برای تولید بذر چغندر قند است (جدول ۱). خصوصیات خاکشناسی محل اجرای آزمایش طبق آزمون خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مطابق جدول ۲ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل مقادیر مختلف گوگرد در سه سطح (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار) و روی در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم روی در هکتار) بود. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به طول شش متر بود که دو ردیف کناری به کاشت والد پدری (گرده افشان) و چهار ردیف وسطی به کاشت والد مادری (نرعمیم) اختصاص داده شد. فاصله بوته روی ردیف‌های کاشت، ۴۰ سانتی‌متر بود. رقم مورد مطالعه، رقم منورژم کلاسیک شیرین — جزو ارقام کلاسیک و قندی (Z) بود. تیمارهای آزمایشی در زمان تهیه زمین در پاییز توزین و به صورت خطی با فاصله حدود ۱۰ سانتی‌متری محل کاشت ریشه‌ها در عمق ۱۵ سانتی‌متری ردیف‌های کاشت به صورت دستی جای‌گذاری شد.

جهت آماده سازی زمین محل اجرای آزمایش، یک‌بار شخم در پاییز صورت گرفته و سپس دیسک جهت نرم کردن سطح خاک زده شد. در نهایت، با استفاده از فاروئر، جوی و پشت‌ها طبق دستورالعمل (با فواصل ردیف ۷۵ سانتی‌متر) ایجاد شدند. پس از آماده‌سازی زمین، چارچوب طرح مشخص و تکرارهای آزمایش تفکیک شدند و طبق نقشه کاشت مقادیر ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد پاستیلی (بتونیت دار) مورد استفاده قرار گرفت. قبل از مصرف گوگرد در خاک با تیوباسیلوس (*Halothiobacillus neapolitanus*) به میزان دو درصد گوگرد مصرفی مخلوط شد. سپس در خاک در عمق ۱۵ سانتی‌متری در

در گیاهان دخالت دارد. همچنین روی در ساختمان تعداد زیادی از آنزیم‌ها مشارکت و در نقل و انتقالات زیست‌شناسی سلول نقش مهمی دارد (Sun et al., 2020). کمبود روی یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین کمبودهای عناصر ریزمغذی در دنیا می‌باشد و می‌تواند منجر به کاهش تولید محصولات زراعی شود. کمبود روی می‌تواند به کاهش غلظت پروتئین، افزایش غلظت آمینه‌ها و کاهش فعالیت هورمون‌های رشد گیاهان منجر شود. این کمبود اغلب در خاک‌های با pH بالا و پائین، خاک‌های شن، سدیمی، آهکی و غرقاب بدون تهویه عمومیت بیشتری دارد. بر اساس گزارش‌ها، میلیون‌ها هکتار از اراضی قابل کشت دنیا دچار کمبود روی هستند (Cakmak et al., 2017; Ijaz et al., 2021). طبق گزارش‌های صورت گرفته با مصرف سولفات روی درصد روغن، عملکرد دانه و عملکرد روغن کلزا افزایش یافت. همچنین عنصر روی بر اسیدهای چرب پنبه مؤثر بود و سبب کاهش اسیدهای چرب اشباع و افزایش اسیدهای چرب غیراشباع شد (Zakaria et al., 2006). در تحقیق دیگر کاربرد همزمان گوگرد با عناصر روی و آهن سبب افزایش رشد، عملکرد و کیفیت دانه شد (Ravi et al., 2008). (Habibi et al. (2014). گزارش دادند، بیشترین عملکرد دانه کلزا در تیمار ترکیب بر + روی + گوگرد و بیشترین مقدار روغن دانه در تیمارهای بر + روی + گوگرد به دست آمد. در مطالعه دیگر در بررسی تأثیر بی و فی تیلر و نانو ذرات روی بر خواص آنزیمی، بیوشیمیایی و زراعی چغندرهای قند تحت رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش کردند که استفاده از نانو ذرات روی در شرایط تنش آبی موجب افزایش عملکرد قند سفید شد (Mir Mahmoudi et al., 2023). با توجه به اهمیت و نقش روی و گوگرد در تولید از یک سو و محدودیت مطالعات در زمینه تأثیر این دو عنصر بر توان تولید بذر چغندر قند از سوی دیگر، این مطالعه با هدف بررسی نقش مصرف همزمان این دو عنصر در تولید تجاری بذر چغندر قند در منطقه اردبیل به اجرا درآمد.

## مواد و روش‌ها

### طرح و تیمارهای آزمایشی

آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل (آلاروق) واقع

زمین، سیلوی ریشچه‌های بذری تخلیه و با آرایش کاشت  $75 \times 40$  سانتی‌متر در تاریخ پانزدهم اسفند کاشته شدند. بلافاصله پس از کاشت و اعمال تیمارها، آبیاری برای استقرار ریشچه‌ها انجام شد. برای مبارزه با علف‌های هرز، سه بار و جین دستی در طول فصل رشد انجام شد. در طول اجرای آزمایش، برای مبارزه با آفت شته سیاه به صورت لکه‌ای از سم اکامت استفاده شد.

۱۰ سانتی‌متر ریشه‌ها به صورت دستی قرار گرفت. فسفر به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سوپرفسفات تریپل به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه آزمایشی با خاک مخلوط شد. در بهار، کود روی در مقادیر ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات روی طبق تیمارهای مورد نظر همراه با نصف کود اوره (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های آزمایشی مصرف و بقیه کود اوره در زمان ساقه‌روی بوته‌ها مصرف شد. پس از آماده‌سازی

جدول ۱- خلاصه آمار ماهانه هواشناسی منطقه اردبیل در سال ۱۳۹۷

Table 1- Summary of monthly weather statistics for the Ardabil region in 2018.

ماه Month	دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C)			رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)
	حداقل Min	متوسط Means	حداکثر Max		
فروردین March	1.3	5.6	9.9	83.0	78.2
اردیبهشت April	5.5	11.7	17.9	79.0	26.6
خرداد May	10.5	17.9	25.2	76.0	25.6
تیر June	11.8	16.1	20.4	82.0	4.4
مرداد July	13.0	20.2	27.4	74.0	4.5
شهریور August	11.5	19.0	26.4	71.0	1.7
مهر September	7.0	13.4	19.7	75.0	2.3
آبان October	3.2	9.8	16.4	70.0	3.6
آذر November	-3.2	1.2	5.5	79.0	61.4
دی December	-16.8	-10.8	-4.7	86.0	6.2
بهمن January	-10.5	-5.0	0.6	81.0	29.8
اسفند February	-0.6	5.3	11.1	67.0	24.6

جدول ۲- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش، ایستگاه آلاروق اردبیل

Table 2- Characteristics of the soil at the location where the experiment was conducted, Alarouq Station, Ardabil.

شن Sand	سیلت Silt	رس clay	روی Zn	پتاسیم قابل جذب K	فسفر قابل جذب P	ازت کل N	کربن آلی OC	اشباع خاک soil saturation	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC
			(قسمت در میلیون)		(درصد)					$ds.m^{-1}$
30	34	36	0.5	410	14	0.09	0.85	51	7.7	1.0

تولیدی غیر یکنواخت و از بذرهایی با اندازه متفاوت (با قطر بین ۲ تا ۷ میلی‌متر) همراه با بذر پوک (فاقد جنین) تشکیل می‌شود (Fathullah Taleghani et al., 2004). جهت جدا کردن مواد خارجی از توده بذر از دستگاه سرشاخه‌گیر (WESTRUP ساخت کشور سوئد) استفاده شد. بذر حاصل در این مرحله، به‌عنوان بذر خام (شامل بذرهایی با اندازه‌های متفاوت) در نظر گرفته شد. طی این عملیات، با استفاده از فشار باد، بذرهایی سبک یا پوک نیز از توده بذر جدا و در مخزن جداگانه‌ای قرار می‌گیرد. برای درجه‌بندی بذر از نظر اندازه بذر توده بذر خام حاصل از هر کرت، با استفاده از غربال‌های مختلف (با قطر روزنه ۳/۵ میلی‌متر گرد در پایین و قطر ۴/۵ میلی‌متر گرد در بالا) به سه طبقه شامل (۱) بذر زیر ۳/۵ میلی‌متر یا بذر زیرسرنده، (۲) بذر با قطر ۴/۵-۳/۵ میلی‌متر یا بذر استاندارد و (۳) بذر با قطر بیش از ۴/۵ میلی‌متر یا بذر بالای اندازه استاندارد تقسیم شد. با حذف سهم بذور زیرسرنده و پوک از عملکرد بذر خام که شامل بذرهایی بالا استاندارد و استاندارد است، عملکرد بذر اقتصادی (قابل فروش) به‌دست آمد (Nasiri & Seyed-Sharifi, 2018). برای محاسبه عملکرد هر طبقه بذری نیز سهم هر طبقه در عملکرد خام ضرب شده و عملکرد هر طبقه بدست آمد.

بذر موجود در اندازه ۴/۵-۳/۵ میلی‌متر گرد (بذر اندازه استاندارد) جهت تعیین صفاتی مانند قوه نامیه مکانیکی و آزمایشگاهی به آزمایشگاه کنترل بذر اردبیل انتقال یافت. برای مشخص کردن قوه نامیه مکانیکی (بذرهایی که از نظر ظاهر کامل و رسیده باشند)، چهار تکرار صدتایی از بذر با چکش شکسته شد و با مشاهده جنین بذر در هر کدام از بذور، درصد آن تعیین و یادداشت شد. قوه‌نامه فیزیولوژیکی (بذرهایی که توان جوانه‌زنی دارند) نیز با قرار دادن یک‌صد عدد بذر از هر کرت در داخل کاغذهای اکاردئونی و قرار دادن آنها در دستگاه ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شمارش تعداد بذرهایی جوانه‌زده روزانه بعد از ۱۴ روز این صفت نیز بدست آمد (Hamidi & Chguinea, 2016). منورمیت (درصد بذر منورم در توده بذر تولیدی) نیز از طریق نمونه‌برداری از بذور هر کرت به تعداد ۳ نمونه ۱۰۰ تایی برداشت و بذور پلی‌ژرم جدا و درصد (عددی) آن محاسبه و با کسر آن از عدد صد، درصد منورمیت مشخص شد.

در زمان برداشت، دو ردیف‌های کناری هر کرت که والد گرده‌افشان (پایه پدری) همراه با نیم متر ابتدا و انتهای چهار ردیف مادری (به‌عنوان حاشیه) حذف شدند. عملیات برداشت به صورت دستی انجام و پس از خشک شدن بوته‌ها در داخل هر کرت، توسط کارگر اقدام به خرم‌نکوبی و جداسازی بذور از بوته‌ها شد. بذری که در این مرحله به‌دست آمد به‌عنوان بذر ناخالص همراه با مواد خارجی بود و طی مراحل بوجاری، مواد خارجی از قبیل خاک، بذر علف‌های هرز و خاشاک از آن جدا شد. در نهایت، درجه‌بندی اندازه بذور با استفاده از غربال‌های گرد ۳/۵ و ۴/۵ میلی‌متر انجام شد.

### صفات مورد ارزیابی

در این مطالعه، مجموعه‌ای از صفات ریخت‌شناسی بوته همراه با اجزای کمی و کیفی بذر تولید شده اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پیش از برداشت، تعداد پنج بوته از هر کرت برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه، ارتفاع بوته (حدفاصل طوقه یا محل اتصال برگ‌ها به ریشه) تا آخرین شاخه فرعی در روی ساقه اصلی به سانتی‌متر، تعداد شاخه اصلی (انشعاب یافته از طوقه) و تعداد شاخه‌های فرعی (شاخه‌های منشعب از شاخه‌های اصلی) در هر بوته اندازه‌گیری و میانگین پنج بوته به‌عنوان مقدار هر تیمار در نظر گرفته شد. مجموع وزن تر اجزای گیاهی (شامل شاخه، گل و بذر) توزین و پس از اخذ یک زیرنمونه، نسبت به تعیین وزن خشک بوته و وزن خشک بذر اقدام شد. به‌همین منظور، پاکت‌های محتوی نمونه به مدت زمان ۲۴ ساعت در آون تهویه‌دار با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک نمونه‌ها با ترازوی حساس با دقت یک صدم گرم توزین و یادداشت شد. براساس اطلاعات حاصل برای وزن خشک بوته و بذر، شاخص برداشت بر پایه فرمول زیر محاسبه شد:

= شاخص برداشت (٪)

$$100 \times \left[ \frac{\text{ماده خشک کل (گرم)}}{\text{ماده خشک بذر (گرم)}} \right]$$

توده بذر حاصل از هر تیمار آزمایشی شامل بذر، شاخ و برگ، مواد غیرزنده (خاک و سنگ) و بذر سایر گیاهان زراعی یا بذر علف هرز است. در چغندر قند به دلیل رشد نامحدود، توده بذر

## تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده های بدست آمده برای هر صفت ابتدا با نرم افزار MSTATC مورد آزمون یکنواختی قرار گرفتند و سپس به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی تجزیه شدند. مقایسه میانگین اثرات اصلی و نیز متقابل با استفاده از آزمون دانکن و با بهره گیری از نرم افزار MSTATC صورت گرفت. از نرم افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده شد. تجزیه به مؤلفه اصلی نیز با استفاده از نرم افزار R 4.3.2.1 صورت گرفت.

## نتایج و بحث

## ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده های بدست آمده (جدول ۳) نشان داد که ارتفاع بوته تنها تحت تأثیر مصرف مقادیر مختلف گوگرد قرار گرفت و اثرات روی و اثر متقابل روی در گوگرد بر ارتفاع بوته معنی دار نبود. این تأثیر به نحوی بود که با مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ارتفاع بوته به ترتیب ۸ درصد و ۲۳ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات اصلی گوگرد و روی بر صفات ریخت شناسی بوته های بذری چغندر قند

Table 3- Result variance and comparison of means for the main effects of sulfur and zinc on the morphological characteristics of sugar beet seed.

منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means square					شاخص برداشت Harvest index
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه Number branches		ماده خشک Dry weight		
			اصلی Main	فرعی Sub	کل total	بذر Seed	
تکرار Rep	2	171.1*	1.5*	19.2 <sup>ns</sup>	80498.5 <sup>ns</sup>	4504.6 <sup>ns</sup>	6.2 <sup>ns</sup>
گوگرد Sulfur	2	1438.2**	1.9**	80.9*	80984.3*	3005.3*	140.5 <sup>ns</sup>
روی Zinc	2	9.2 <sup>ns</sup>	0.1 <sup>ns</sup>	40.6 <sup>ns</sup>	22071.2 <sup>ns</sup>	744.7 <sup>ns</sup>	23.5 <sup>ns</sup>
S × Zn	4	25.1 <sup>ns</sup>	1.4**	9.8 <sup>ns</sup>	5453.3 <sup>ns</sup>	156.3 <sup>ns</sup>	108.3 <sup>ns</sup>
اشتباه آزمایشی Error	16	32.9	0.3	17.5	14656.6	641.9	42.9
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	4.9	21.1	13.2	27.7	26.2	24.4
گوگرد (کیلوگرم در هکتار) Sulfur (kg/h)		(سانتی متر) (cm)	(عدد در بوته) (Number per plant)		(گرم در بوته) (g per plant)		(درصد) (%)
0		106.2 b	2.3 b	29.2 b	370.2 b	89.9 b	24.3 b
200		114.8 b	2.1 b	30.8 ab	386.2 b	100.3 b	26.0 b
400		131.1 a	2.9 a	34.9 a	545.8 a	175.9 a	32.3 a
روی (کیلوگرم در هکتار) Zinc (kg/h)							
0		116.3 a	2.4 a	32.1 a	371.2 a	104.9 a	28.3 a
20		118.3 a	2.3 a	29.3 a	461.9 a	140.4 a	30.4 a
40		117.6 a	2.5 a	33.5 a	469.1 a	120.9 a	25.8 a

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

<sup>ns</sup>, \* and \*\* are non-significant and significant probability levels at the 5% and 1% respectively.

Different letters in each column indicate a significant difference according to Duncan's test at the 5% probability level.

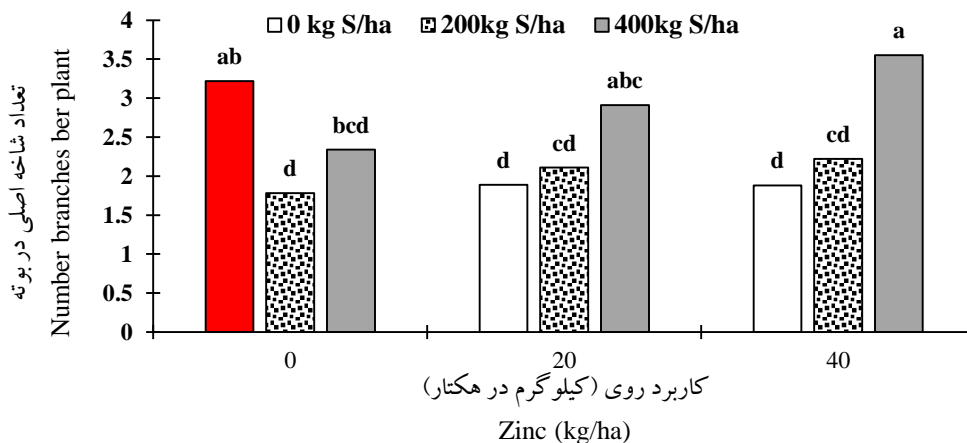


## تعداد شاخه

تعداد شاخه اصلی و فرعی به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد تحت تأثیر گوگرد قرار گرفته ولی مقادیر مختلف روی بر هیچ یک از آن‌ها اثر معنی‌دار نداشت. اثر متقابل گوگرد در روی نیز تنها بر تعداد شاخه اصلی اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). بالاترین تعداد شاخه اصلی و فرعی در اثر مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به ترتیب با میانگین ۲/۹ و ۳۴/۹ عدد بدست آمد که نسبت به عدم مصرف گوگرد افزایش ۲۵ و ۲۰ درصدی نشان دادند (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نیز مشخص نمود، در شرایط عدم مصرف گوگرد، کاربرد روی موجب کاهش تعداد شاخه اصلی در گیاه شده ولی با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد تأثیرات روی غیر معنی‌دار و با مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار تأثیر روی مثبت شد. به عنوان مثال، بالاترین تعداد شاخه اصلی (۳/۵ عدد در بوته) در مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه ۴۰ کیلوگرم در هکتار روی بدست آمد که با تیمار شاهد (عدم مصرف روی و گوگرد) تفاوت معنی‌دار نداشت این در حالی بود که کمترین تعداد شاخه اصلی (۱/۸ عدد) از مصرف ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار روی در شرایط عدم مصرف گوگرد و مصرف سطح پایین آن بدست آمد (شکل ۱).

طبق گزارش‌های صورت گرفته گوگرد بر فرآیندهای مربوط به تقسیم و طویل شدن سلولی تأثیر گذاشته و از این طریق موجب بهبود ارتفاع بوته گیاهان مختلف شد (Mardanluo et al., 2018; Mosavi Nik, 2012; Mosavi et al., 2019; Noorbakhsh et al., 2014). همچنین مشخص شد که کمبود گوگرد سبب کاهش تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش رشد گیاه می‌شود و به همین خاطر مصرف این عنصر موجب افزایش ارتفاع بوته در این مطالعه شد. گوگرد نقش کلیدی در ساختار اسیدهای آمینه گوگردی، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و کوآنزیم‌ها دارد و از این طریق موجب تأثیرگذاری بر ارتفاع گیاه می‌شود (Khavazy et al., 2018). بدیهی است در شرایط کمبود گوگرد، کاهش فتوسنتز و در پی آن کاهش منابع مورد نیاز رشد، سبب افت شدید سرعت تقسیم سلولی می‌شود (Cao et al., 2000). علاوه بر این، یکی دیگر از علت‌های تأثیر مثبت گوگرد بر ارتفاع بوته در این مطالعه می‌توان نقش این عنصر بر آزادسازی عناصر فسفر، روی، آهن و منگنز خاک اشاره نمود که موجب قابل دسترس نمودن آن‌ها برای ریشه می‌شود و از علت‌های غیر معنی‌دار شدن کاربرد روی در این مطالعه باشد (Rhaimian, 2011). همچنین گوگرد بر کارایی استفاده از نیتروژن تأثیرگذار است و از این طریق می‌تواند موجب افزایش ارتفاع ساقه گل‌دهنده و افزایش بذر تولیدی نیز می‌شود (Fazili et al., 2008).



شکل ۱- میانگین اثر متقابل گوگرد و روی بر تعداد شاخه اصلی در بوته‌های بذری چغندر قند حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است. نمودار قرمز شاهد (عدم مصرف گوگرد و عدم مصرف روی) می‌باشد.

Figure 1- Interaction effect of sulfur and zinc on the number of main branches in sugar beet seeds. Different letters in each column indicate a significant difference according to Duncan's test at the 5% probability level. The red diagram indicates the (lack of sulfur and lack of zinc) consumption.

طبق گزارش‌های صورت گرفته مشخص شد که فراهم آوردن عناصر غذایی و جذب بیشتر آب باعث افزایش شاخه‌های فرعی و متعاقب آن افزایش تعداد شاخه در بوته شد که در این مطالعه نیز مشاهده گردید که گوگرد در مقادیر کم موجب خنثی کردن تاثیرات روی شده ولی در شرایط مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب بالاترین تاثیرات بر تعداد شاخه شد (Saeednezhad & Rezvani Moghadam, 2011). گوگرد از طریق بهبود جذب و متابولیسم نیتروژن و دیگر عناصر موجب بهبود رشد گیاه می‌شود. در این مطالعه نیز مشاهده شد، در شرایط عدم استفاده از گوگرد، کاربرد روی تاثیر معنی‌دار نداشته و در شرایط مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد تاثیرات روی مشخص گردید که تایید کننده نقش این عنصر در جذب و متابولیسم عنصر روی می‌باشد (Grath & Zhao, 1996; Mohanti et al., 2004). رشد و شاخه‌دهی گیاه از طریق بهبود تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول در اثر افزایش میزان عناصر غذایی در دسترس افزایش پیدا می‌کند که گوگرد با افزایش فراهمی عناصر بهبود رشد را سبب شود (Rhamian, 2011). همچنین تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی و اسمیلات‌های تولیدی در اثر گوگرد افزایش پیدا می‌کند که این امر ضرورت نقش گوگرد در رشد رویشی و تولید شاخه‌های اصلی و فرعی را نیز مشخص می‌نماید (Khavazy et al., 2018; Mustafa Yad et al., 2012).

### ماده خشک و شاخص برداشت

مصرف گوگرد بر میزان ماده خشک بذر و ماده خشک کل اندام هوایی چغندرقد در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. لیکن مصرف روی و اثر متقابل روی با گوگرد بر صفات موصوف، غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). شاخص برداشت در این مطالعه تحت تأثیر هیچ یک از تیمارهای مورد بررسی قرار نگرفت. مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، موجب بالاترین ماده خشک بذر (۱۷۵ گرم در بوته) و ماده خشک کل گیاه (۵۴۵ گرم در بوته) شد که افزایشی به ترتیب ۹۰ و ۴۷ درصدی نسبت به تیمار عدم مصرف گوگرد (صفر) داشتند (جدول ۳). در این مطالعه به نظر می‌رسد با تأمین گوگرد مورد نیاز، فتوسنتز گیاه افزایش یافته و در نتیجه باعث افزایش وزن خشک بوته می‌شود.

افزایش تولید ماده خشک آفتابگردان با استفاده از گوگرد، به افزایش رشد ریشه، تشکیل کلروفیل و افزایش فرایند فتوسنتز مرتبط است (Ravi et al., 2010). همچنین استفاده از گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلیوس، به طور قابل ملاحظه‌ای منجر به افزایش ماده خشک ذرت می‌شود (Besharaty et al., 2001) که تایید کننده نتایج مشاهده شده در این مطالعه است. اکسیداسیون گوگرد در خاک موجب تولید اسید سولفوریک شده که با فسفات خاک واکنش نشان داده و باعث افزایش ترکیبات فسفوری قابل حل و قابل جذب مانند منوکلسیم فسفات و دی کلسیم فسفات در خاک می‌شود. در این شرایط، گیاه به دلیل خودتنظیمی و وجود روابط بین عناصر، منجر به جذب نیتروژن، پتاسیم و سایر عناصر و افزایش تولید و تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (Khadm et al., 2014) همچنین علت غیر معنی‌دار شدن اثرات متقابل گوگرد و روی به افزایش جذب روی خاک و عدم نیاز به روی بیشتر در این شرایط می‌توان نسبت داد. گوگرد از طریق اسیدی کردن خاک باعث افزایش قابلیت انحلال عناصر، جذب مواد و افزایش راندمان گیاهان در فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و دوام برگ‌های گیاه می‌شود (Motior et al., 2011) که این امر می‌تواند بر تغذیه گیاه مادری تاثیر گذاشته و موجب بهبود کیفیت بذر تولیدی شود. همچنین شاخص برداشت نشان‌دهنده تقسیم مواد فتوسنتزی بین بخش‌های رویشی و زایشی است. تغییرات غیر معنی‌دار آن در شرایط استفاده همزمان گوگرد و روی ممکن است نشانگر این موضوع باشد که افزایش عملکرد زیستی و عملکرد بذر، هر دو به طور به یک اندازه باشد.

### عملکرد بذر

عملکرد بذر خام و بذر اقتصادی (قابل فروش) چغندرقد به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر کاربرد گوگرد قرار گرفتند، اما اثرات روی در هر دو غیر معنی‌دار بود. اثر متقابل گوگرد در روی نیز تنها بر عملکرد بذر خام (در سطح احتمال ۵ درصد) معنی‌دار بود (جدول ۴). مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، موجب افزایش ۳۶ درصدی بذر قابل فروش شده که این تغییرات در اثر مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار به ۶۸ درصد رسید (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات اصلی گوگرد و روی بر عملکرد و درجه بندی بذر تولیدی چغندر قند

Table 4- Result variance and camper means, main effect sulfur and zinc on seed yield and productive seed profile beet

منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means square							
		عملکرد بذر Seed yield		عملکرد طبقات مختلف بذر Productive seed profile					
				سهام			عملکرد		
		خام Crude	قابل فروش Salable	زیرسرند Sieved passed	استاندارد Standard	بالای استاندارد Oversize	زیرسرند Sieved passed	استاندارد Standard	بالای استاندارد Oversize
تکرار Rep	2	168743.4 <sup>ns</sup>	217992.9 <sup>ns</sup>	25.0 <sup>ns</sup>	145.3*	23.7 <sup>ns</sup>	4457.1 <sup>ns</sup>	230571.0 <sup>ns</sup>	497.0 <sup>ns</sup>
گوگرد Sulfur	2	3136277.0**	3661263**	490.0**	166.1*	412.3**	808.9 <sup>ns</sup>	1203852.0**	1181050.0*
روی <sup>ns</sup> Zinc	2	139828.6 <sup>ns</sup>	185749.3 <sup>ns</sup>	6.0 <sup>ns</sup>	28.6 <sup>ns</sup>	16.9 <sup>ns</sup>	20556.4 <sup>ns</sup>	5593.0 <sup>ns</sup>	49924.0 <sup>ns</sup>
S × Zn	4	401054.6*	426629.5 <sup>ns</sup>	105.6 <sup>ns</sup>	5.5 <sup>ns</sup>	101.1 <sup>ns</sup>	18809.0 <sup>ns</sup>	76942.0 <sup>ns</sup>	237657.0*
اشتباه آزمایشی Error	16	116498.4	150755.9	35.0	28.6	39.0	12024.5	64073.0	39671.0
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	16.4	16.2	21.7	12.7	20.5	18.2	24.2	25.3
گوگرد (کیلوگرم در هکتار) Sulfur (kg/ha)		(کیلوگرم در هکتار) (kg/ha)		(درصد) (%)		کیلوگرم در هکتار			
0		2902 b	1428 c	35.6 a	39.6 b	24.8 b	1033 a	1149 b	720 b
200		3198 ab	1938 b	26.7 b	41.5 ab	31.8 a	854 a	1327 ab	1017 ab
400		3414 a	2400 a	20.8 c	44.6 a	35.7 a	710 a	1523 a	1219 a
روی (کیلوگرم در هکتار) Zinc (kg/ha)									
0		3201 a	1917 a	27.6 a	43.2 a	28.8 a	883 a	1383 a	922 a
20		3111 a	1845 a	28.0 a	40.0 a	31.0 a	871 a	1244 a	964 a
40		3205 a	1984 a	26.4 a	42.0 a	30.3 a	846 a	1346 a	971 a

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است

(۳) بذر زیرسرند: بذوری با قطر کمتر از ۳/۵ میلی متر؛ بذر استاندارد: بذوری با قطر بین ۴/۵-۳/۵ میلی متر؛ بذر بالای استاندارد: بذوری با قطر بیش از ۴/۵ میلی متر.

ns, \* and \*\* are non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

Different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's test at the 5% probability level

(3) Subsoil seeds: seeds with a diameter of less than 3.5 mm; Standard seed: seeds with a diameter between 4.5-3.5 mm; Oversized seeds: seeds with a diameter of more than 4.5 mm

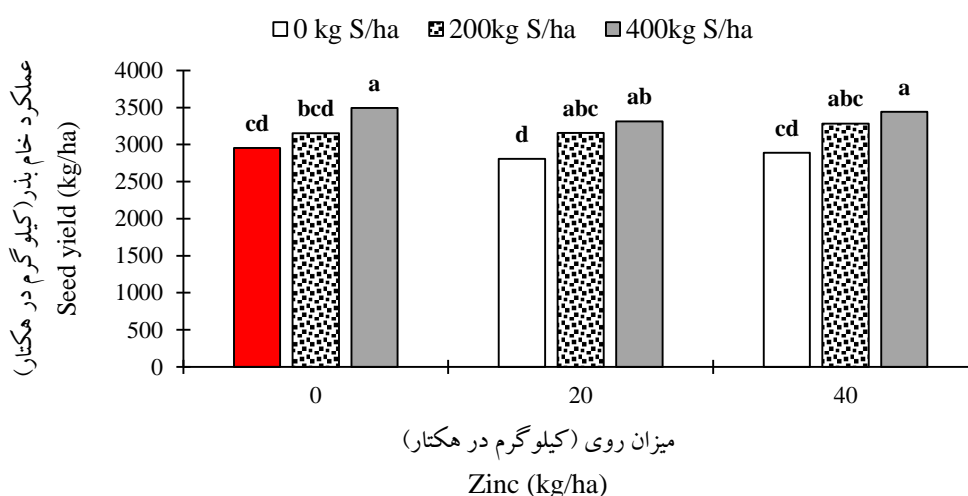
بهبود رشد گیاه شده، می تواند باعث کاهش اسیدیته خاک و انحلال مواد معدنی تثبیت شده ای که مورد نیاز گیاه است، شود. این موضوع منجر به تأثیر معنی داری در افزایش میزان عملکرد خام می شود (Orman & Kaplan, 2007). همچنین، مصرف کود گوگرد به علت تأثیر روی تشکیل آنزیم ها و برخی ترکیبات دیگر که در ساخت و ساز مواد تولیدی مؤثر هستند، می تواند منجر به افزایش عملکرد بذر شود و همچنین متابولیسم نیتروژن و کربوهیدرات ها تحت تأثیر گوگرد قرار گرفته و می تواند نقش کلیدی در فتوسنتز، انتقال مواد تولیدی از منبع به مخزن و در

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل گوگرد و روی نشان داد که، مصرف همزمان گوگرد و روی موجب افزایش عملکرد بذر خام شد. بالاترین عملکرد بذر خام (۳۴۴۳ کیلوگرم در هکتار) از مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۴۰ کیلوگرم در هکتار روی و کمترین عملکرد بذر خام (۲۸۰۶ کیلوگرم در هکتار) نیز از عدم مصرف گوگرد و مصرف مقادیر مختلف روی مشاهده شد که با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند (شکل ۲).

با توجه به نتایج مشاهده شده در این مطالعه، مصرف کود گوگرد علاوه بر اثرات مستقیم تغذیه ای روی گیاه که موجب

و گوگرد است (شکل ۱). از طرف دیگر، کمبود روی می تواند منجر به اختلال در شکل گیری اندام های جنسی نر و ماده، فرایند گرده افشانی و کاهش تولید ایندول استیک اسید شود (Yang et al., 2007) که این می تواند در افزایش میزان بذره های پوک خود را نشان دهد. از این رو مصرف همزمان روی و گوگرد موجب بهبود عملکرد تولیدی شد. تأثیرات مثبت عنصر بور به همراه روی و گوگرد در دیگر گیاهان گزارش شده است (Gilani et al., 2022; Habibi et al., 2014; Safara et al., 2015).

نهایت تشکیل دانه داشته باشد (Safara et al., 2015). بهبود ارتفاع شاخه گلدهنده در اثر مصرف گوگرد و تعداد شاخه های اصلی در اثر برهمکنش گوگرد در روی یکی دیگر از علت های افزایش عملکرد خام بذر تولیدی در این مطالعه بود که نشان دهنده نقش موثر ارتفاع شاخه گلدهنده و تعداد شاخ اصلی به ویژه تعداد شاخ اصلی در تولید بذر چغندرقد است. مشخص شد روی اثر مطلوبی بر فعالیت فتوسنتزی برگ ها دارد و سبب انتقال بهتر مواد فتوسنتزی می شود. بهبود تعداد شاخه اصلی یکی از دلایل تایید کننده بهبود توان فتوسنتزی گیاه در اثر مصرف روی



شکل ۲- میانگین اثر متقابل گوگرد و روی بر عملکرد بذر خام چغندرقد

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

نمودار قرمز شاهد (عدم مصرف گوگرد و عدم مصرف روی) می باشد.

Figure 2- interaction effect of sulfur and zinc on raw seed yield of sugar beet  
Different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's test at the 5% probability level.  
The red diagram indicates the (lack of sulfur and lack of zinc) consumption

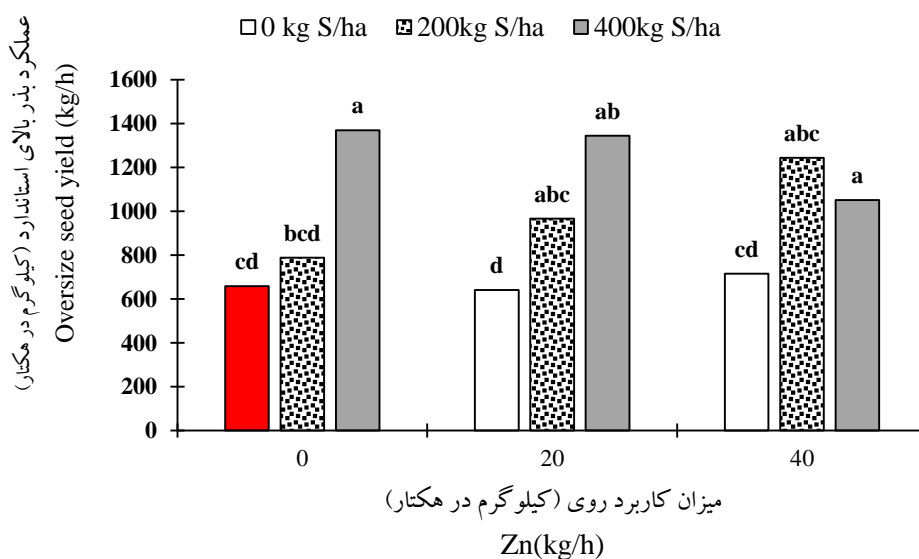
نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل گوگرد و روی نشان داد که، مصرف همزمان گوگرد و روی موجب افزایش عملکرد بذر طبقه بذری بالاتر از استاندارد شد. بالاترین عملکرد بذر طبقه بذری بالاتر از استاندارد (۱۳۷۰ کیلوگرم در هکتار) از مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و عدم مصرف روی و کمترین عملکرد بذر طبقه بذری بالاتر از استاندارد (۶۴۰ کیلوگرم در هکتار) نیز از عدم مصرف گوگرد و مصرف مقادیر مختلف روی مشاهده شد که با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند (شکل ۳). طبق بررسی های صورت گرفته مشخص شد که هر عاملی که

### عملکرد طبقات مختلف بذر

درصد و عملکرد بذره های زیرسرنده و استاندارد تنها تحت تاثیر مصرف گوگرد قرار گرفت و اثر متقابل گوگرد و روی تنها بر عملکرد بذره های بالای استاندارد بذر معنی دار بود (جدول ۴). مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد موجب افزایش ۱۳ درصدی سهم بذره های استاندارد و ۳۲ درصدی عملکرد این طبقه بذری شد، این در حالی است که سهم و عملکرد بذر زیرسرنده ۴۱ و ۳۲ درصد کاهش و سهم و عملکرد بذر بالای استاندارد ۴۳ و ۹۸ درصد افزایش یافت (جدول ۴).

عناصر غذایی با افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد مانند ایندول استیک اسید و کربوهیدرات و متابولیسم نیتروژن که سبب افزایش اجزای عملکرد و نسبت‌بندی بذرها می‌شود (Akter et al., 2013; Ebrahimi et al., 2010). همچنین عناصر غذایی مانند گوگرد و روی بر تقسیم و رشد سلولی، انتقال مواد فتوسنتزی و تنظیم‌کننده‌های رشد از منبع به مخزن تاثیر می‌گذارند و از این طریق درجه بندی بذرها تولیدی را تغییر می‌دهند (Boem et al., 2007; Devi et al., 2012).

سبب تغییر در اندازه دانه شود، موجب تغییر در عملکرد بذر نیز می‌گردد. در این میان، به نظر می‌رسد گوگرد اضافه شده به خاک سبب افزایش زمان پر شدن بذر، افزایش مقدار مواد فتوسنتزی و در نهایت اندازه بذر می‌شود که در این مطالعه افزایش میزان بذرها استاندارد و بالای استاندارد تایید کننده این مطلب است. همچنین طبق بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد؛ فراهم بودن عناصر کم‌مصرف و پر مصرف در مراحل رشد که سبب افزایش تجمع آسیمیلات در بذر و سنگین تر شدن بذر می‌شود که افزایش اندازه بذر در این مطالعه را توجیه پذیر می‌کند (Ghaderi et al., 2017).



شکل ۳- میانگین اثر متقابل گوگرد و روی بر عملکرد بذر بالای استاندارد چغندر قند

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است. نمودار قرمز شاهد (عدم مصرف گوگرد و عدم مصرف روی) می‌باشد.

Figure 3- interaction effect of sulfur and zinc on Oversize seed yield of sugar beet  
Different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's test at the 5% probability level.  
The red diagram indicates the (lack of sulfur and lack of zinc) consumption

درصد رسید (جدول ۶).

طبق تحقیقات صورت گرفته مشخص شد که میزان بلوغ بذر با کیفیت بذر چغندر قند رابطه معنی‌دار دارد و بذرها در زمان بلوغ کامل حداکثر جوانه‌زنی را دارند، بنابراین تغذیه گیاه مادری با گوگرد موجب افزایش میزان بلوغ بذر، افزایش میزان قوه نامیه مکانیکی و در نهایت قویه نامیه فیزیولوژیکی می‌شود (Varshavska et al., 1991). تغذیه گیاه با گوگرد از طریق بهبود فتوسنتز گیاه، موجب افزایش زمان بعد از گرده‌افشانی و بلوغ

### خصوصیات بذر

نتایج مربوط به خصوصیات بذر نشان داد که قوه نامیه مکانیکی و فیزیولوژیک (جوانه‌زنی) و درصد بذرها پوک تنها تحت تأثیر مقادیر مختلف گوگرد قرار گرفتند (جدول ۵). مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد موجب افزایش ۳ درصدی در قوه نامیه مکانیکی و ۸ درصدی قوه نامیه فیزیولوژیک و کاهش ۱۶ درصدی در بذرها پوک نسبت به شاهد شده که این مقدار در اثر مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار به ۱۲، ۶ و ۴۱

فرایند بلوغ بذر می‌تواند و میزان پر شدن بذرها تأثیر گذار باشد. همچنین گوگرد در ساختار برخی اسید آمینه‌ها از قبیل آرژینین، اسید آسپارتیک و سیستین موثر بوده که در تولید متابولیت‌های اولیه گلوکوتایون‌ها برای فعالیت مکانیسم‌های دفاعی سلول نقش کلیدی دارد و از این طریق بر کیفیت بذر تولیدی تأثیر داشته باشد (Ghaderi et al., 2017).

بیشتر بذر شده که این امر میزان جوانه‌زنی بذر را افزایش می‌دهد (Grimwade et al., 1987). از سوی دیگر مشخص شد که اندازه بذر و سطح ذخایر پروتئین و نشاسته در بذر چغندر قند با افزایش بلوغ افزایش یافته که این امر می‌تواند عامل مؤثر در افزایش کیفیت بذرهای تولیدی باشد (Slyusarenko & Petrushina, 1987). بنابراین کاربرد کودهای گوگرد و روی از طریق افزایش میزان ذخایر پروتئینی و نشاسته در بذر و افزایش

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات اصلی گوگرد و روی بر خصوصیات بذر تولیدی چغندر قند

Table 5- result variance and camper means, main effect sulfur and Zinc on seed characteristics of sugar beet seed

منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means square			
		بذر پوک empty seed	قوه نامیه مکانیکی Mechanical viability	قوه نامیه فیزیولوژیکی Physiologic viability	منوزرمیته Monogermity
تکرار Rep	2	8.80 <sup>ns</sup>	2.69	0.89 <sup>ns</sup>	0.259
گوگرد Sulfur	2	92.64 <sup>**</sup>	5.01 <sup>*</sup>	22.09 <sup>**</sup>	4.56 <sup>*</sup>
روی Zinc	2	2.54 <sup>ns</sup>	1.06 <sup>ns</sup>	1.36 <sup>ns</sup>	3.18 <sup>*</sup>
S × Zn	4	1.47 <sup>ns</sup>	1.15 <sup>ns</sup>	4.81 <sup>ns</sup>	3.49 <sup>*</sup>
اشتباه آزمایشی Error	16	7.51	0.89 <sup>ns</sup>	1.92	0.884
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	22.0	3.3	1.59	0.95
سطوح گوگرد (کیلوگرم روی در هکتار) Sulfur (kg/ha)			(درصد) (%)		
0		15.2 a	87.4 b	80.5 b	99.2 a
200		12.7 a	89.9 ab	87.4 a	98.8 ab
400		8.9 b	92.5 a	89.7 a	97.9 b
سطوح روی (کیلوگرم روی در هکتار) Zinc (kg/ha)					
0		12.5 a	89.4 a	89.7 a	99.0 a
20		12.7 a	89.3 a	86.5 a	99.1 a
40		11.7 a	91.2 a	87.3 a	98.0 b

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است

ns, \* and \*\* are non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

Different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's test at the 5% probability level.

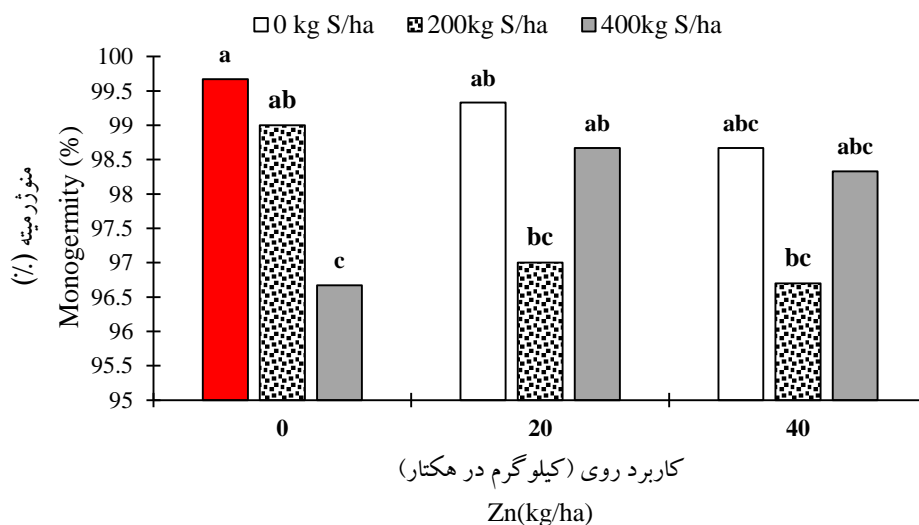
### منوزرمیته

توام گوگرد و روی دارای تأثیرات مضاعف بوده به طوری که کمترین میزان منوزرمیته (۹۶ درصد) در مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۴۰ کیلوگرم در هکتار روی و مصرف تنهایی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بدست آمد که با یکدیگر تفاوت

منوزرمیته نیز تحت تأثیر گوگرد، روی و اثرات متقابل گوگرد در روی در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نیز نشان داد که مصرف

طریق موجب کاهش درصد منورمیت می‌شود. همچنین مشخص شد که عملیات برداشت در چند تاریخ متفاوت و به تدریج همراه با رسیدن بذر در مقایسه با برداشت یک‌باره بر مقدار عملکرد، جوانه‌زنی و وزن خوشه‌های بذری افزوده شد (Sroller, 1991) که این امر می‌تواند ناشی از فرصت لازم برای فرایند پر شدن و رسیدگی بذر باشد که در برداشت یک‌باره به‌خوبی صورت نمی‌گیرد.

آماری ندا شدند. اما مصرف سطوح بالای گوگرد و روی موجب کاهش تأثیرات همدیگر و افزایش منورمیت شد (شکل ۴). طبق گزارش صورت گرفته تأخیر در زمان رسیدن بذر با کاهش درصد بذرهای منورم، ظرفیت جوانه‌زنی (قوه نامیه) وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد بذر همراه است (Rostel, 1972). تغذیه گیاه به خصوص با گوگرد موجب افزایش توان جذب گیاه در جذب دیگر عناصر شده که این امر می‌تواند موجب افزایش طول دوره رسیدگی بذر شده و از این



شکل ۴- میانگین اثر متقابل گوگرد و روی بر درصد منورمیت بذر چغندر قند

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

نمودار قرمز شاهد (عدم مصرف گوگرد و عدم مصرف روی) می‌باشد.

Figure 4- Interaction effect of sulfur and zinc on the Monogermity of sugar beet  
Different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's test at the 5% probability level.  
The red diagram indicates the (lack of sulfur and lack of zinc) consumption.

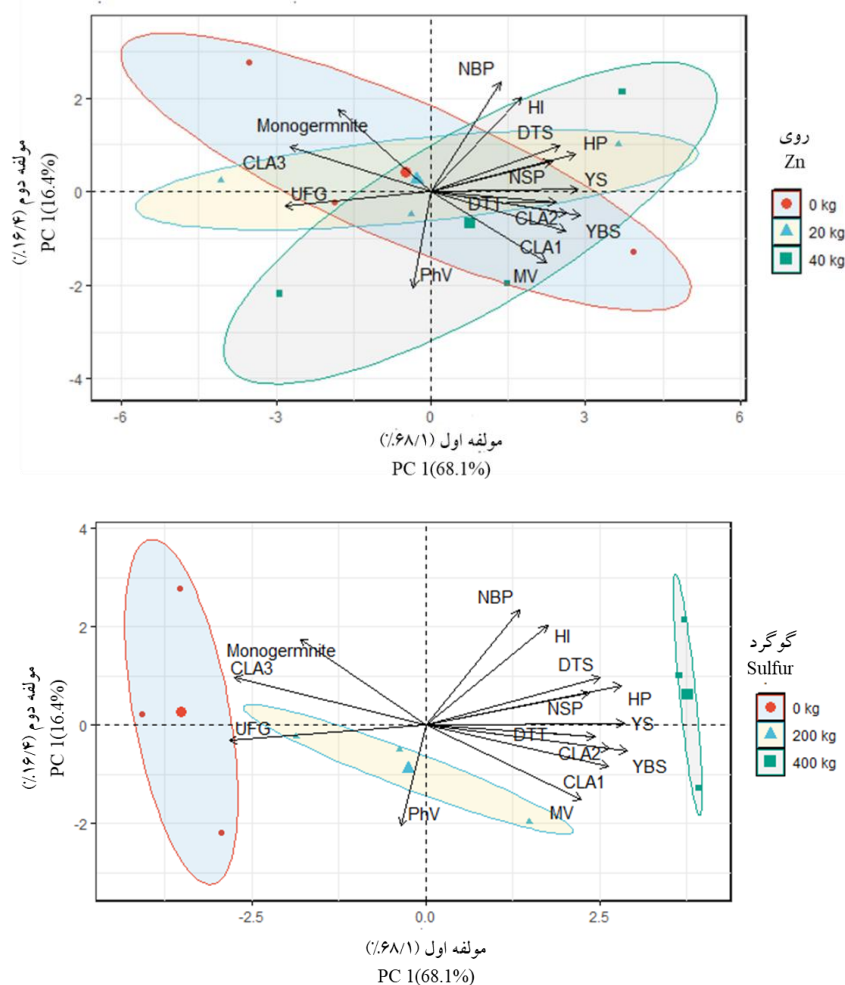
قوه نامیه نیز در ناحیه چهار مختصات قرار گرفته که این امر نشان‌دهنده میزان تشابه این صفات با یک دیگر بود. میزان بذر پوک نیز در ناحیه سوم مختصات جای گرفت. با توجه به کانون قرارگیری تیمارهای مختلف گوگرد نیز مشخص شد که تیمار شاهد بیشترین تأثیر را بر منورمیت و میزان بذرهای زیرسرنده داشته این در حالی است که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد دارای تأثیر مثبتی بر درصد بذرهای پوک و تا حدودی قوه نامیه بوده و مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیز بیشترین تأثیر را بر میزان تولید بذر و بیوماس نهایی داشت. نتایج مربوط به تأثیرات روی نیز مشخص نمود که تأثیرات

### تجزیه به مؤلفه اصلی

نتایج تجزیه به مؤلفه اصلی نشان داد که دو مؤلفه نخست ۸۴ درصد از تغییرات را توجیه نموده به طوری که مؤلف اول ۶۸ درصد و مؤلف دوم ۱۶ درصد را به خود اختصاص دادند (شکل ۵). با توجه به موقعیت قرارگیری صفات بر روی محور مختصات مشخص شد که منورمیت و درصد بذرهای درشت، بیشترین تشابه را به یک دیگر داشته و در ناحیه اول مختصات قرار گرفتند. شاخص برداشت، تعداد ساقه اصلی، تعداد ساقه فرعی، ارتفاع بوته وزن خشک کل نیز در ناحیه دوم مختصات جای گرفتند. میزان بذرهای زیرسرنده و استاندارد، عملکرد خام بذر و قابل فروش و

صفات در گندم دوروم چهار عامل مستقل از هم را شناسایی کردند که در مجموع ۲۶/۷ درصد از تغییرات موجود را توجیه نمودند. (2015) Mohammadi نیز مشاهده کردند، ۳ عامل در حدود ۷۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمودند که به ترتیب عامل اجزای عملکرد دانه، ویژگی‌های دانه و فنولوژی گیاه نام‌گذاری شدند.

روی مشابه بوده است. به طوری که ۴۰ کیلوگرم در هکتار بر وزن دانه‌ها بیشترین تأثیر را داشته است این در حالی است که ۲۰ کیلوگرم و شاهد بر منوزرمیته و درصد بذرهای زیرسرنده مؤثر بود (شکل ۵). (2010) Golbashe et al. نیز در مطالعه خود عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه ذرت در یک مؤلفه قرار گرفتند و تأیید کنند نقش اجزای عملکرد دانه در تعیین عملکرد می‌باشند. (2011) Naghdipor et al. ضمن تجزیه به مؤلفه‌های اصلی



شکل ۵- پلات تجزیه به مؤلفه اصلی (PCA) صفات مورد بررسی منوزرم چغندر قند در تیمارهای مختلف گوگرد و روی ارتفاع بوته (HP)، تعداد شاخه اصلی (NPS) و فرعی (NBS)، ماده خشک بذر (DTS) و کل (DTT)، شاخص برداشت (HI)، عملکرد بذر خام (YS) و قابل فروش (YBS)، پروفیل بذر تولیدی (CLA1-CLA3)، بذر پوک (UFG)، قوه نامیه مکانیکی (MV)، قوه نامیه فیزیولوژیکی (PhV) و منوزرمیته (Monogermite).

Figure 5 - Principal component analysis (PCA) plot of studied traits of sugar beet monogerm under various sulfur and zinc treatments.

Plant height (HP), number of main branches (NPS) and secondary branches (NBS), seed dry matter (DTS) and total (DTT), harvest index (HI), raw seed yield (YS) and salable seed (CLA1-CLA3), empty seed (UFG).



## نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کاربرد گوگرد به صورت مجزا بر بیشتر صفات مؤثر در تولید بذر چغندر قند تأثیر گذار بوده و موجب افزایش مقدار آن‌ها به خصوص در مقدار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار شده اما مصرف همزمان آن با روی تنها بر اعداد ساقه اصلی، عملکرد خام بذر و منورمنیته تأثیر گذار بود. کاربرد همزمان این دو عنصر موجب افزایش بذر تولیدی شد، ولی بر کیفیت بذر تولیدی تأثیر معنی‌داری نداشت که این نشان‌دهنده نقش بیشتر گوگرد و کمتر روی در بهبود کیفیت بذر چغندر قند می‌باشد.

## تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

## References

- Andrés-Barrao, C., Alzubaidy, H., Jalal, R., Mariappan, K. G., De Zelicourt, A., Bokhari, A., & Hirt, H. (2021). Coordinated bacterial and plant sulfur metabolism in *Enterobacter* sp. SA187-induced plant salt stress tolerance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(46). <https://doi.org/10.1073/pnas.2107417118>
- Besharati, H., & Motalebifard, R. (2015). Evaluation of the effect of sulfur application and *Thiobacillus* on some soil chemical characteristics and yield of canola in wheat-canola rotation system. *Journal of Water and Soil*, 29, 1688–1698. <https://doi.org/10.22067/JSW.V29I6.41985> [In Persian]
- Besharaty, H., Khavazi, K., & Saleh-Rastin, N. (2001). Evaluation of some carriers for *Thiobacillus* inoculants used along with sulfur to increase uptake of nutrients by corn and improve performance. *Plant Nutrition*, 672–677. [https://doi.org/10.1007/0-306-47624-X\\_326](https://doi.org/10.1007/0-306-47624-X_326)
- Boem, F. H. G., Prystupa, P., & Ferraris, G. (2007). Seed number and yield determination in sulfur-deficient soybean crops. *Plant Nutrition*, 30, 93–104. <https://doi.org/10.1080/01904160601055095>
- Cakmak, I., McLaughlin, M. J., & White, P. (2017). Zinc for better crop production and human health. *Plant and Soil*, 411, 1–4. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3166-9>
- Cao, H., Zhang, L., & Melis, A. (2000). Bioenergetic and metabolic processes for the survival of sulfur-deprived *Dunaliella salina* (Chlorophyta). *Journal of Applied Phycology*, 13, 25–35. <https://doi.org/10.1023/A:1008131412909>
- Chegini, M. A., & Etihad, M. (2012). Investigating the effect of seed grading, seed coat abrasion, and pitting on some important qualitative traits of monogerm sugar beet seeds of Gadok variety. *Iranian Seed Science and Technology*, 2(2), 207–218. <https://sid.ir/paper/513017> [In Persian]
- Devi, K. N., Singh, L. N. K., Singh, M. S., Singh, S. B., & Singh, K. K. (2012). Influence of sulfur and boron fertilization on yield, quality, nutrient uptake, and economics of soybean (*Glycine max*) under upland conditions. *Agricultural Science*, 12, 421–431.
- Ebrahimian, E., Bybordi, A., & Pasban Eslam, B. (2010). Efficiency of zinc and iron application methods on sunflower. *Food, Agriculture & Environment*, 8(3), 783–789. <http://www.isfae.org/scientificjournal.php>
- Esanejad, N. S., Maleki Farahani, S., & Rezazadeh, A. (2017). Evaluation of the effect of maternal growth environment on survival of barley seeds (*Hordeum vulgare* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1), 233–242. <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.122885.653857> [In Persian]
- Ahmad, G., Jan, A., Arif, M., Tariq Jan, M., & Shad, H. (2012). Effect of nitrogen and sulfur fertilization on yield components, seed and oil yields of canola. *Plant Nutrition*, 34(14), 2069–2089. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.618569>
- Ajam Hosiny, M. (2021). Changes in blood cells of sugar beet willow larvae *Scrobipalpa ocellatella* (Lepidoptera: Gelechiidae) under the influence of temperature stress. *Journal of Entomology Society of Iran*, 41(1), 101–103. <https://doi.org/10.22117/jesi.2021.353933.1412> [In Persian]
- Akter, F., Islam, N., Shamsuddoha, A. T. M., Bhuiyan, M., & Shilpi, S. (2013). Effect of phosphorus and sulfur on growth and yield of soybean (*Glycine max* L.). *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 4(4), 556–561. <https://doi.org/10.1040/01904167.2012.518461>
- Aljabri, M., Alharbi, S., Al-Qthanin, R. N., Ismaeil, F. M., Chen, J., & Abou-Elwafa, S. F. (2021). Recycling of beet sugar byproducts and wastes enhances sugar beet productivity and salt redistribution in saline soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 45745–45755. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13860-3>
- Alloway, B. J. (2009). Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*, 31(5), 537–548. <https://doi.org/10.1007/s10653-009-9255-4>

- Fazili, I. S., Jamal, A., Ahmad, S., Masoodi, M., Khan, J. S., & Abidin, M. Z. (2008).** Interactive effect of sulfur and nitrogen on nitrogen accumulation and harvest in oilseed crops differing in nitrogen assimilation potential. *Journal of Plant Nutrition*, 31(7), 1203–1220. <https://doi.org/10.1080/01904160802134905>
- Friemel, M., Marelja, Z., Li, K., & Leimküher, S. (2017).** The N-terminus of iron–sulfur cluster assembly factor ISD11 is crucial for subcellular targeting and interaction with l-cysteine desulfurase NFS1. *Biochemistry*, 56(12), 1797–1808. <https://doi.org/10.1021/acscchembio.3c00147>
- Ghaderi, J., Malakooti, M. J., Khavazi, K., & Davoudi, M. H. (2017).** Investigation of the effect of elemental sulfur application on yield and some quality characteristics of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.). *The Crop Physiology Journal*, 9(33), 69–84. [In Persian]
- Ghobady, M., Jhanbin, S. H., Olaiy, H., & Matlabifar Parvizy, H. (2013).** Effect of phosphorus biofertilizers on yield and phosphorus absorption in potato. *Journal of Water and Soil Science*, 23(2), 125–138. [In Persian]
- Gilani, A., Abbasdokht, H., & Gholami, A. (2022).** Effects of elemental sulfur application with *Halothiobacillus neapolitanus* on morphophysiological traits and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Scientific Research Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 189–205.
- Golbashe, M., Ebrahimi, M., Khavri Khorasnay, S., Chokan, R., & Zraby, M. (2010).** Evaluation of some morphological traits, yield, and yield components in seed corn hybrids (*Zea mays* L.) under the climatic conditions of Mashhad. *Agricultural Ecology*, 2(1), 75–84. <https://doi.org/10.22067/jag.v2i1.7604> [In Persian]
- Grath, S. M., & Zhao, F. J. (1996).** Sulphur uptake, yield responses, and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science, London*, 126(1), 53–62.
- Grimwade, J. A., Grierson, D., & Whittington, G. (1987).** The effect of differences in time to maturity on the quality of seed produced by sugar beet different parent lines. *Zemledeliya*, 2, 20–26. <https://doi.org/10.5555/19871662266>
- Habibi, M., Majjiaan, M., & Rabi, M. (2014).** Effect of boron, zinc, and sulfur elements on seed yield and composition of rapeseed oil fatty acids. *Agricultural Crops*, 16(1), 69–84. <https://doi.org/10.22059/jci.2014.51943> [In Persian]
- Hadavizadeh, A., & George, R. A. T. (2007).** The effect of mother plant nutrition on seed vigor as determined by the seed leachate conductivity in pea, cultivar *Sprite*. *Seed Science and Technology*, 16, 589–599. <https://doi.org/10.5555/19890725066>
- Hamidi, A., & Chegini, M. A. (2016).** Effect of seed size of different varieties of sugarcane on some characteristics of germination and plant base. *Sugar beet*, 31(2), 157–166. <https://doi.org/10.22092/jsb.2016.105777> [In Persian]
- Hesami, A. (2018).** Investigating weed management and sugar beet yield in different amounts of urea fertilizer with sulfur coating. *Journal of Plant Agronomy*, 8(2), 147–156. [In Persian]
- Ijaz, A., Mumtaz, M. Z., Wang, X., Ahmad, M., Saqib, M., Maqbool, H., & Mustafa, A. (2021). Insights into manganese solubilizing *Bacillus* spp. for improving plant growth and manganese uptake in maize. *Frontiers in Plant Science*, 12, 719504. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.719504>
- International Seed Testing Association. (1985).** *International rules for seed testing. Rules 1985.* Seed Science
- Khadm, A., Golchin, A., & Zare, A. (2014).** The effect of animal manure and sulfur on the absorption of nutrients by corn (*Zea mays* L.). *Agricultural Applied Research*, 27(103), 2–11. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1895034> [In Persian]
- Khan, M. F. R., Haque, M. E., Hakk, P., Bhuiyan, M. Z. R., Liu, Y., Johnson, J., & Peters, D. (2021).** First report of *Pythium ultimum* causing damping-off of sugar beet (*Beta vulgaris*) in Montana, USA. *Plant Disease*, 105(4), 1229–1229. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-20-2108-PDN>
- Khavazi, K., Jhandid Mehjan Abad, H., & Taghipor, F. (2018).** The effect of application of sulfur, *Thiobacillus* bacteria, and phosphorus on yield and nutrient absorption of wheat in calcareous soil. *Journal of Sugar Beet*, 8(2), 23–41. <https://doi.org/10.22069/EJSMS.2018.13665.1761> [In Persian]
- Levandovskiy, L. V., & Myhailik, V. S. (2017).** Gradient-continuous yeast cultivation for alcohol production from molasses. *Biotechnologia Acta*, 10(3), 50–56. <https://doi.org/10.15407/biotech10.03.050>
- Liu, T., Clegg, S. L., & Abbatt, J. P. (2020).** Fast oxidation of sulfur dioxide by hydrogen peroxide in deliquesced aerosol particles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(3), 1354–1359. <https://doi.org/10.1073/pnas.191640111>

- Mahawar, L., Ramasamy, K. P., Pandey, A., & Prasad, S. M. (2023).** Iron deficiency in plants: An update on homeostasis and its regulation by nitric oxide and phytohormones. *Plant Growth Regulation*, 100(2), 283–299. <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00853-6>
- Malhi, S. S., Gan, Y., & Raney, J. P. (2007).** Yield, seed quality, and sulfur uptake of Brassica oilseed crops in response to sulfur fertilization. *Agronomy*, 99(2), 570–577. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0269>
- Mardanluo, S., Souri, M. K., & Ahmadi, M. (2018).** Plant growth and fruit quality of two pepper cultivars under different potassium levels of nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition*, 41(12), 1604–1614. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1463383>
- Martins, N. C., Avellan, A., Rodrigues, S., Salvador, D., Rodrigues, S. M., & Trindade, T. (2020).** Composites of biopolymers and ZnO NPs for controlled release of zinc in agricultural soils and timed delivery for maize. *ACS Applied Nano Materials*, 3(3), 2134–2148. <https://doi.org/10.1021/acsnm.9b01492>
- Mir Mahmoudi, T., Hamze, H., & Golabi Lak, I. (2023).** Impact of biofertilizer and zinc nanoparticles on enzymatic, biochemical, and agronomic properties of sugar beet under different irrigation regimes. *Zemdirbyste-Agriculture*, 110(3). <https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.025>
- Miyatake, M., Ohyama, T., Yokoyama, T., Sugihara, S., Motobayashi, T., Kamiya, T., & Ohkama-Ohtsu, N. (2019).** Effects of deep placement of controlled-release nitrogen fertilizer on soybean growth and yield under sulfur deficiency. *Soil Science and Plant Nutrition*, 65(3), 259–266. <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1615827>
- Mohammadi, S. (2015).** Investigating the relationships between grain yield and its components in bread wheat cultivars under full irrigation conditions and moisture stress at the end of the season using multivariate statistical methods. *Agricultural Research in Iran*, 12(1), 99–109. <https://doi.org/10.15835/nbha4017350> [In Persian]
- Mosavi Nik, M. (2012).** Effect of drought stress and sulfur fertilizer on quantity and quality yield of psyllium (*Plantago ovata* L.) in Balochistan. *Agricultural Ecology Journal*, 4(2), 170–182. <https://sid.ir/paper/211267/en> [In Persian]
- Mosavi, F., Moraeshi, S. K., & Babaei Nezhad, T. (2019).** The effect of sulfur and *Thiobacillus* on improving morphophysiological characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Khuzestan lands. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 9(2), 97–106. <https://sanad.iau.ir/journal/jpps/Article/669600?jid=669600&lang=en> [In Persian]
- Motamedi, A. (2006).** The effect of different sulfur levels on the quantitative and qualitative performance of wheat cultivar *Pishtaz*: Short scientific paper. *Journal of Seedling and Seed*, 22(2), 273–276. [In Persian]
- Motior, M. R., Abdou, A. S., Fareed, H. A. D., & Sofian, M. A. (2011).** Responses of sulfur, nitrogen, and irrigation water on *Zea mays* growth and nutrients uptake. *Australian Journal of Crop Science*, 5(3), 347–357. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.280104752348407>
- Muldabekova, B. Z., Umirzakova, G. A., Assangaliyeva, Z. R., Maliktayeva, P. M., Zheldybayeva, A. A., & Yakiyayeva, M. A. (2022).** Nutritional evaluation of buns developed from chickpea-mung bean composite flour and sugar beet powder. *International Journal of Food Science*, 2022, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/6009998>
- Mustafa Yad, M., Hamasbi Sarvestani, Z., Modars Sanvi, S. A. M., & Ghalavand, A. (2012).** Evaluation of some canola agronomic traits under the influence of different sulfur levels. *Iranian Agricultural Research*, 10(3), 495–502. <https://doi.org/10.22067/gsc.v10i3.17670> [In Persian]
- Naghdipor, A., Khodarahmi, A., Porshahbazi, A., & Esmailzade, M. (2011).** Factor analysis for grain yield and other traits in durum wheat. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 7, 84–96.
- Nasiri, M., & Raouf Sharifi, R. (2018).** Effect of iron, manganese, and boron micronutrients on some morphological and quantitative characteristics of sugar beet seed. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 1, 1–11. [In Persian]
- Noorbakhsh, F. S., Behdani, M. A., Jami Al Ahmadi, M., & Mahmoodi, S. (2014).** Evaluation of the integrated impact of sulfur and *Thiobacillus* on qualitative and morphological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agriculture and Ecosystems*, 6(1), 51–59. <https://sid.ir/paper/211017/en> [In Persian]
- Orman, S., & Kaplan, M. (2007).** Effects of elemental sulfur and organic manure on sulfur, zinc, and total chlorophyll contents of tomato in a calcareous sandy loam soil. *Journal of Soil Science Society of America*, 55, 85–90.
- Pan, H. Y., Ye, Z. W., Zheng, Q. W., Yun, F., Tu, M. Z., Hong, W. G., & Lin, J. F. (2022).** Ergothioneine exhibits longevity-extension effect in *Drosophila melanogaster* via regulation of cholinergic neurotransmission, tyrosine metabolism, and fatty acid oxidation. *Food and Function*, 13(1), 227–241. <https://doi.org/10.1039/D1FO02758A>

- Ravi, S., Channal, H. T., Hebsur, N. S., Patil, B. N., & Dharmatti, P. R. (2008). Effect of sulfur, zinc, and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake, and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karnataka Journal of Agriculture Science*, 21(3), 382–385. <https://doi.org/10.5555/20083314858>
- Rhaimian, Z. (2011). The effect of sulfur and *Thiobacillus* along with organic matter on quantitative and qualitative traits of rapeseed. *Journal of Crop Plant Physiology*, 3(12), 19–27. <https://sid.ir/paper/174518/en> [In Persian]
- Rostel, H. G. (1972). Results of breeding for seed quality and the relationship between seed quality and performance in the first year. *Report of the Agricultural Institute for Seed Quality*, 7, 7–16. <https://doi.org/10.5555/19741615676>
- Saeidi Nezhad, M., Behdani, M. A., Sayari Zahan, M. H., & Mahmoodi, S. (2020). The effect of sulfur and manure on quantitative and qualitative characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Agriculture and Ecosystems*, 11(3), 845–857. <https://doi.org/10.22067/JAG.V11I3.71128> [In Persian]
- Safara, N., Moradi Telavt, M. R., Siadat, S. A., Koochekzadeh, A., & Mousavi, S. H. (2015). Effect of sowing date and sulfur on yield, oil content, and grain nitrogen of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in autumn cultivation. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(3), 438–448. <https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.42739.2573> [In Persian]
- Sharifi, R., & Syiahkholaki, M. S. (2015). Effects of biofertilizers on growth indices and contribution of dry matter remobilization in wheat grain yield. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 28(2), 326–343. <https://doi.org/10.28211> [In Persian]
- Slyusarenko, Z. S., & Petrushina, M. P. (1987). Cytogenetic expression of incompatibility in the production of sugar beet. *Dostizheniya i Perspektivy Vselektii Sakharnoy Svekly*, 42–51.
- Sroller, J. (1991). Reserres in sugar beet seed production. *Sbornik Vysoke Skoly Zemedelske Praze, Fakulta Agronomicka*, 53, 191–198.
- Sun, L., Wang, R., Ju, Q., & Xu, J. (2020). Physiological, metabolic, and transcriptomic analyses reveal the responses of *Arabidopsis* seedlings to carbon nano horns. *Environmental Science & Technology*, 54(7), 4409–4420. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07133>
- Taleghani, D. F., Dehghan Shaar, M., Ghasemi, A., Yusufabadi, W., Chegini, M. A., & Hamdi, F. (2004). Determining the most appropriate seed size and amounts of consumables in coating single sprout sugar beet seeds. *Sugar Beet Journal*, 18(2), 95–108. <https://sid.ir/paper/57610/fa> [In Persian]
- Varshavska, V. B., Lenchevska, L. K., & Korsun, L. I. (1991). Improvement in sowing qualities of sugar beet seeds with growth regulators. *Ukrainskii Botanichnii Zhurnal*, 48, 71–75. <https://doi.org/10.5555/19910748412>
- Yang, M., Shi, L., Xu, F. S., Lu, J. W., & Wang, Y. H. (2009). Effects of B, Mo, and Zn and their interactions on seed yield of *Brassica napus* L. (rapeseed). *Pedosphere*, 19(1), 53–59. <https://doi.org/10.5555/20093108770>
- Zakaria, M. S., Hafez, S. A., Basyony, A. E., & Alkassas, A. E. R. (2006). Cottonseed, protein, oil yields, and oil properties as affected by nitrogen fertilization and foliar application of potassium and a plant growth retardant. *Agricultural Sciences*, 2(1), 56–65.