

## The Effects of different levels of Sulfur Fertilizer and *Acidithiobacillus* on Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tuber and some Soil Nutrients

Ghasem Rostami<sup>1</sup>, Gholamreza Heidari<sup>2\*</sup>, Shiva Khalesro<sup>2</sup>

Received: November 29, 2023

Accepted: September 19, 2024

1-Former M.Sc Student of Agroecology, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

2- Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

\*Corresponding Author: Gholamreza Heidari E-mail: [g.heidari@uok.ac.ir](mailto:g.heidari@uok.ac.ir)

### Abstract

**Background and Objectives:** The use of sulfur chemical fertilizer and *Acidithiobacillus* bacteria can improve the soil and enhance crop performance. Additionally, the simultaneous application of these fertilizers can decrease soil pH and improve the absorption of nutrients. This study was conducted to evaluate the effects of sulfur fertilizer and *Acidithiobacillus* levels on potato tuber yield and some soil nutrients.

**Materials and Methods:** The experiment was conducted as a factorial based on randomized complete block design with three replications in 2019. The experimental factors included sulfur fertilizer levels (0, 300, 600, 900 and 1200 kg. ha<sup>-1</sup>) and *Acidithiobacillus* bacteria levels (inoculation and non-inoculation). In this experiment, traits such as weight and number of tubers on the plant, tuber yield, biological yield, organic matter, nitrogen, potassium, phosphorus, and soil pH were evaluated.

**Results:** The effect of sulfur fertilizer and *Acidithiobacillus* application were significant on potato tuber and biological yield. The highest amount of tuber yield was obtained from using *Acidithiobacillus*, and the lowest amount belonged to not using *Acidithiobacillus*. The highest amount of tuber yield was related to the treatment of 1200 kilograms of sulfur. Application of sulfur fertilizer and *Acidithiobacillus* decreased the nitrate residue in potatoes. Using sulfur fertilizer and *Acidithiobacillus* lowered the soil pH and the highest soil pH was obtained in the control conditions (no use of sulfur and *Acidithiobacillus*). The highest amount of starch and tuber dry matter were obtained in the treatment of 1200 kg. ha<sup>-1</sup> of sulfur fertilizer.

**Conclusion:** The results showed that the use of sulfur and *Acidithiobacillus* along with using basic chemical fertilizers was evaluated positively on the yield and some quality traits of potato as well as some chemical properties of the soil. Using *Acidithiobacillus* and sulfur decreased the pH of the soil. In general, the use of 1200 Kg. ha<sup>-1</sup> sulfur fertilizer together with *Acidithiobacillus* bacteria is recommended to increase the quantity and quality of potatoes.

**Keywords:** Harvest Index, Tuber Yield, Soil pH, Potato, Tuber Nitrate



## اثرات سطوح مختلف کود گوگرد و باکتری اسیدی تیوباسیلوس بر عملکرد غده سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) و برخی عناصر غذایی خاک

قاسم رستمی<sup>۱</sup>، غلامرضا حیدری<sup>۲\*</sup>، شیوا خالصرو<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران  
۲- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

### چکیده

**مقدمه و اهداف:** استفاده از کود شیمیایی گوگرد و باکتری اسیدی تیوباسیلوس، می تواند خاک را اصلاح کرده و عملکرد محصول را افزایش دهد. علاوه بر این، کاربرد همزمان این کودها، می تواند pH خاک را کاهش و جذب عناصر مغذی را بهبود می بخشد. این مطالعه به منظور بررسی اثرات سطوح کود گوگرد و باکتری اسیدی تیوباسیلوس بر عملکرد و اجزای عملکرد غده سیب زمینی و برخی عناصر غذایی خاک انجام شد.

**مواد و روش ها:** این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سطوح کود گوگرد (۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰ و ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و باکتری تیوباسیلوس (کاربرد و عدم کاربرد) بودند. در این آزمایش صفاتی از قبیل وزن و تعداد غده در بوته، عملکرد غده، عملکرد بیولوژیک و ماده آلی، نیتروژن، پتاسیم، فسفر و pH خاک ارزیابی شدند.

**یافته ها:** اثر کود گوگرد و مصرف اسیدی تیوباسیلوس بر عملکرد غده و بیولوژیک سیب زمینی معنی دار بود. کاربرد اسیدی تیوباسیلوس به افزایش عملکرد غده منجر شد. بیشترین میزان عملکرد غده به تیمار ۱۲۰۰ کیلوگرم گوگرد تعلق داشت که نسبت به تیمار شاهد بدون کود گوگرد از ۳۱/۸ درصد افزایش برخوردار بود. استفاده از کود گوگرد و اسیدی تیوباسیلوس باعث کاهش باقیمانده نیترات در سیب زمینی شد. استفاده از کود گوگرد و اسیدی تیوباسیلوس باعث کاهش pH خاک شد و بیشترین pH خاک در شرایط شاهد (عدم استفاده از گوگرد و اسیدی تیوباسیلوس) بدست آمد. بیشترین مقدار نشاسته و ماده خشک غده از تیمار ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد حاصل شد.

**نتیجه گیری:** نتایج نشان داد که استفاده از گوگرد و اسیدی تیوباسیلوس در کنار مصرف کودهای شیمیایی پایه بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی از صفات کیفی سیب زمینی و همچنین برخی ویژگی های شیمیایی خاک اثرات مثبتی داشت. استفاده از اسیدی تیوباسیلوس و گوگرد باعث کاهش pH خاک شد. به طور کلی برای افزایش عملکرد و کیفیت سیب زمینی استفاده از کود گوگرد به میزان ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با باکتری اسیدی تیوباسیلوس توصیه می شود.

**واژه های کلیدی:** سیب زمینی، گوگرد، اسیدیته خاک، شاخص برداشت، نیترات غده

## مقدمه

سیبزمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان غده‌ای است که در تغذیه جوامع انسانی نقش مهم و اساسی دارد (هوک ۲۰۱۰). غده‌های سیبزمینی از میزان بالای کربوهیدرات، اسیدآمین لیزین، مقدار زیاد ویتامین‌های A، B و C برخوردار می‌باشند. سیبزمینی با داشتن حدود دو درصد پروتئین، وزن ترغده و میانگین عملکرد بیشتر نسبت به غلات و حبوبات و قیمت ارزان‌تر در مقایسه با محصولات مذکور می‌تواند منبع مناسبی برای تأمین انرژی و پروتئین باشد (لاچمن و همکاران ۲۰۰۱).

سطح برداشت سیبزمینی در کشور در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ حدود ۱۴۱ هزار هکتار و میزان محصول تولید شده‌ی آن ۵/۲ میلیون تن بوده است (بی‌نام ۲۰۲۰). افزایش عملکرد در واحد سطح به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای تأمین مواد غذایی مورد مصرف جمعیت در حال رشد بشر امروزه از اهمیت زیادی برخوردار است. استفاده از مواد افزودنی به خاک با نام کود که در انواع متفاوت تولید و عرضه می‌شود یکی از راهکارهای جبران برداشت عناصر به‌وسیله گیاهان تولیدشده در مزارع می‌باشد (اسکندری و همکاران ۲۰۱۱). گیاهان زراعی در طول فصل رشد به عناصر مختلفی برای تکمیل چرخه زندگی خود جهت حصول عملکرد مناسب نیاز دارند. کشاورزان سعی دارند به‌منظور جلوگیری از کمبود عناصر غذایی خاک و مدیریت بهینه تولید، با کاربرد کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان را به حد ظرفیت بالقوه‌ی آن‌ها برسانند (زارع و همکاران ۲۰۱۸). با وجود این، استفاده مداوم از کودهای شیمیایی، عملکرد گیاهان زراعی به دلیل کاهش خصوصیات مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک و نبود ریزمغذی‌ها در کودهای NPK کاهش می‌دهد (پراباکار و همکاران ۲۰۱۱). اسیدیته‌ی خنثی تا قلیایی خاک باعث عدم حل شدن عناصر غذایی موجود در خاک برای استفاده گیاه می‌شود و در نتیجه، استفاده از باکتری‌های اکسید کننده گوگرد، ضمن تأمین غذایی گیاه از لحاظ گوگرد، از طریق اسیدی کردن محیط، به افزایش فراهمی سایر عناصر غذایی و در نتیجه بهبود رشد گیاه کمک می‌کند

(حسین و همکاران ۲۰۱۴). بررسی وضعیت عناصر غذایی در خاک‌های قلیایی نشان می‌دهد که با وجود مقادیر فراوان فسفر، آهن و روی در این خاک‌ها، فرم قابل‌جذب این عناصر کمتر از مقدار لازم برای رشد گیاه می‌باشد و کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی در این خاک‌ها به شمار می‌آید (نوروزی و همکاران ۲۰۱۸). کود گوگرد از طریق اکسید شدن و تولید اسیدسولفوریک می‌تواند شرایط لازم را برای کاهش pH خاک منطقه‌ی ریزوسفر و افزایش جذب عناصر غذایی و درنهایت افزایش عملکرد گیاهان زراعی فراهم آورد. افزودن گوگرد و تلقیح خاک با باکتری تیوباسیلوس ممکن است دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی را بهبود ببخشد و در نتیجه سبب افزایش رشد گیاهان زراعی شود (مصطفی و همکاران ۲۰۲۲). باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* عمل اکسیداسیون بیولوژیکی را در خاک تسهیل می‌کند و ضریب تبادل کاتیونی بین خاک و گیاه را بالا می‌برد و بدین ترتیب عملکرد محصول را افزایش می‌دهد (وانگ و همکاران ۲۰۰۳).

گلمرادی مرانی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به‌منظور ارزیابی اثر کود گوگرد و باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* بر صفات مرتبط با غلظت عناصر غذایی سیبزمینی، گزارش کردند که کاربرد کود گوگرد و باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* باعث کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و پتاسیم شد. همچنین عملکرد غده در هکتار و تعداد غده در بوته نیز با کاربرد هم‌زمان گوگرد و *اسیدی تیوباسیلوس* افزایش یافت. همچنین آن‌ها گزارش کردند که با توجه به آهکی و قلیایی بودن بیشتر اراضی کشاورزی و پایین بودن قابلیت جذب عناصر غذایی در آن‌ها، مصرف هم‌زمان کود گوگرد و باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* جهت کاهش pH خاک، بهبود شرایط خاک، افزایش عملکرد و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی از اهمیت بالایی برخوردار است. نوربخش و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با هدف ارزیابی اثر تلفیقی کاربرد گوگرد همراه با *اسیدی تیوباسیلوس* بر کیفیت دانه و خصوصیات مورفولوژیک گلرنگ نشان دادند که اثر

عملکرد و جذب مواد غذایی کلزا نشان داد که استفاده از *اسیدی تیوباسیلوس*، گوگرد و فسفر می‌تواند عملکرد و کیفیت کلزا را در خاک‌های آهکی ایران به‌طور قابل‌توجهی بهبود بخشد (اسدی رحمانی و همکاران ۲۰۱۸).

با توجه به اهمیت گوگرد در افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و بهبود عملکرد گیاهان زراعی و نقش باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* در اکسایش بیولوژیکی گوگرد و در نتیجه افزایش قابلیت جذب آن برای گیاه، تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی اثرات کاربرد سطوح مختلف کود گوگرد و باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* بر محتوی برخی عناصر غذائی خاک و عملکرد و برخی خصوصیات مرتب با کیفیت غده سیب‌زمینی انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۹ در اراضی روستای سراب واقع در دشت دهگلان در ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان سنج با مختصات جغرافیایی ۴۷/۵۶ درجه شرقی و ۳۵/۱۸ درجه شمالی و ارتفاع ۱۸۶۶ متر از سطح دریا انجام شد. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اقدام به تهیه بستر و کاشت، از ۵ نقطه محل آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت و پس از مخلوط کردن نمونه‌ها، یک نمونه مرکب تهیه و جهت انجام تجزیه‌های مربوطه به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه کردستان ارسال گردید. نتایج حاصل در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

| بافت خاک     | ماده آلی           | هدایت الکتریکی           | اسیدیته | آهن                       | روی                      | پتاسیم قابل‌جذب        | فسفر قابل‌جذب          | نیترژن کل |
|--------------|--------------------|--------------------------|---------|---------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| Soil texture | Organic matter (%) | EC (dS.m <sup>-1</sup> ) | pH      | Fe (mg.kg <sup>-1</sup> ) | Z (mg.kg <sup>-1</sup> ) | (mg.kg <sup>-1</sup> ) | (mg.kg <sup>-1</sup> ) | (%)       |
| لومرسی       | ۰/۷۶               | ۰/۴۶                     | ۷/۲۲    | ۲/۵۰                      | ۰/۰۸                     | ۳۱۰                    | ۱۳/۴                   | ۰/۰۴      |
| Clay loam    |                    |                          |         |                           |                          |                        |                        |           |

*تیوباسیلوس* (کاربرد و عدم کاربرد) بود. کود گوگرد گرانوله بنتونیت‌دار (حاوی ۸۵ درصد گوگرد معدنی) از شرکت کیمیا کود تهیه شد. باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* که قبلاً به نام *تیوباسیلوس* شناخته می‌شد (کلی و وود

کاربرد کود گوگرد و کود زیستی بیوسولفور حاوی *اسیدی تیوباسیلوس* و اثر متقابل آن‌ها بر درصد روغن بذر، درصد پروتئین بذر، غلظت فسفر برگ، غلظت گوگرد برگ، ارتفاع و قطر ساقه اصلی معنی‌دار بود. علاوه‌براین، گزارش شد که تیمارهای کودی ۳۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به ترتیب با افزایش ۱۴ و ۲۱ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد، از کم‌ترین و بیشترین ارتفاع ساقه برخوردار بودند. در پژوهشی دیگر با هدف ارزیابی تأثیر کاربرد گوگرد، باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* و فسفر بر عملکرد کلزا و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک طی دو سال زراعی، مشاهده شد که بیشترین عملکرد دانه و شاخساره با مصرف ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد (تلقیح شده با باکتری) به همراه ۱۱۰ کیلوگرم فسفر به‌ترتیب معادل ۳۱۴۲ و ۱۲۵۰۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۱/۹ و ۱/۵ برابر افزایش عملکرد نشان داد (میرزاپور و همکاران ۲۰۱۸). بشارتی (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با هدف بررسی اثر کاربرد گوگرد و تلقیح باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* بر قابل‌دسترس بودن مواد مغذی خاک، عملکرد گندم و غلظت مواد مغذی گیاهان در خاک‌های آهکی، گزارش کرد که کاربرد گوگرد با مقادیر مختلف در خاک‌های آهکی، فسفر، آهن و روی و نیز غلظت عناصر غذایی گیاه و عملکرد گندم را تحت تأثیر قرار داد. علاوه بر این استفاده بیشتر گوگرد باعث افزایش دسترسی به عناصر غذایی در خاک و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم شد. نتایج مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر *اسیدی تیوباسیلوس*، گوگرد و فسفر بر

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح کود گوگرد (۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰ و ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) سطوح باکتری *اسیدی*

مرحله خاکدهی پای بوته زمانی که ارتفاع بوته‌ها به ۲۰ سانتی‌متر رسید مورد استفاده قرار گرفت و ۵۰ کیلوگرم نیز یک هفته بعد از مرحله‌ی خاکدهی پای بوته اعمال گردید. اولین آبیاری پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله‌ی هر ۱۰ روز یک‌بار انجام شد. در طول فصل رشد، علف‌های هرز دو بار با به‌صورت دستی وجین شدند.

در زمان رسیدگی دو خط کاشت اطراف هر کرت آزمایشی به‌عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد و حذف گردید. از سایر خطوط کاشت یک مترمربع برای اندازه‌گیری صفاتی از قبیل وزن غده در بوته، تعداد غده در بوته، عملکرد غده و عملکرد بیولوژیک برداشت شد. همچنین در زمان برداشت محصول جهت تعیین مقادیر ماده آلی، نیتروژن، پتاسیم، فسفر و pH خاک از هرکرت آزمایشی نمونه خاک تهیه شد. میزان ماده آلی خاک به روش اکسیداسیون تر محاسبه شد (نلسون و سامرس ۱۹۸۲). مقدار نیتروژن کل خاک با استفاده از روش کجلدال تعیین گردید (برمنز و مولوان ۱۹۸۲). جهت اندازه‌گیری فسفر خاک، از روش اولسن و همکاران (۱۹۵۴) استفاده گردید. برای اندازه‌گیری پتاسیم خاک، از روش نشر شعله‌ای به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر استفاده شد (براون و لیل‌لند ۱۹۴۶). اندازه‌گیری pH خاک در سوسپانسیون نسبت ۱ به ۲ (خاک به آب) با استفاده از دستگاه pH متر انجام شد. شاخص برداشت برای هر یک از واحدهای آزمایشی نیز با استفاده از معادله زیر به دست آمد.

$$100 \times (\text{عملکرد بیولوژیک/عملکرد اقتصادی}) = (\%) \text{ شاخص برداشت}$$

تجزیه واریانس داده‌ها به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. قبل از تجزیه واریانس آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد و پس از اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

۲۰۰۰) نیز از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا تهیه گردید. در این آزمایش بر اساس تیمارهای کودی، کود گوگرد گرانوله همراه و بدون باکتری/اسیدی تیوباسیلوس قبل از کاشت غده‌ها با خاک واحدهای آزمایشی مخلوط گردید. در تیمارهای دارای/اسیدی تیوباسیلوس بر اساس توصیه‌ی شرکت فناوری زیستی مهر آسیا به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم کود گوگرد مصرفی، دو کیلوگرم باکتری/اسیدی تیوباسیلوس مورد استفاده قرار گرفت. آماده سازی زمین و کاشت در خرداد ماه انجام شد. کاشت سیبزمینی به صورت جوی و پشته، با فواصل بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر با استفاده از غده‌کار سیبزمینی انجام گردید. هر کرت آزمایشی دارای ۶ خط کاشت به طول ۸ متر بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. هر کرت با ابعاد ۸×۴/۵ (مساحت ۳۶ مترمربع) در نظر گرفته شد و تراکم ۵۳۰۰۰ بوته در هکتار بود. زمان کاربرد گوگرد و باکتری/اسیدی تیوباسیلوس هم‌زمان با کاشت محصول بود. برای کشت از رقم اسپریت استفاده شد. رقم اسپریت سیبزمینی یک رقم بهاره نیمه‌دیررس با عملکرد بالا بوده و دارای کیفیت خوب و انبارداری مناسب می‌باشد (حسن‌پناه ۲۰۱۰). کودهای موردنیاز با توجه به نتایج آزمایش خاک به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم، ۲۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت محصول به زمین داده شد. همچنین یک سوم از کود نیتروژن به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم قبل از کشت و ۲۰۰ کیلوگرم در

رابطه (۱)

اندازه‌گیری مقادیر نیترات در غده‌های سیبزمینی از روش اسید سالیسیلیک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-2100 مدل suv NEW JERSEYS 2100) انجام شد (هالیسوا و همکاران ۱۹۷۰). جهت تعیین نشاسته از روش پلاریمتری استفاده شد. به این صورت که میزان چرخش نور پلاریزه قرائت گردید و با استفاده از فرمول مربوطه میزان نشاسته محاسبه شد (کوترل و همکاران ۱۹۹۵).

## نتایج و بحث

## عملکرد غده

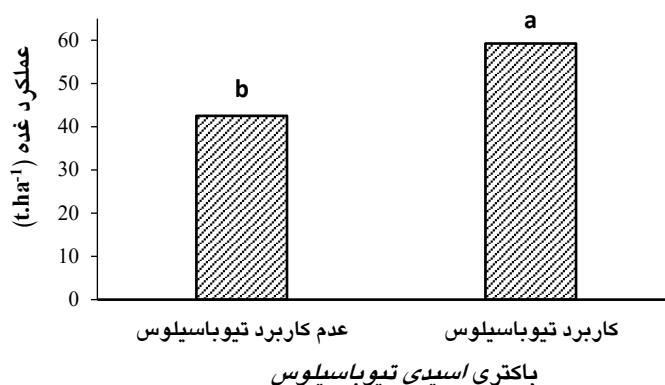
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات کود گوگرد و باکتری *اسیدی‌تیوباسیلوس* بر عملکرد غده در هکتار در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین اثر کاربرد باکتری *اسیدی‌تیوباسیلوس* (شکل ۱) بیشترین میزان عملکرد غده به میزان ۵۹/۲ تن در هکتار از کاربرد باکتری *اسیدی‌تیوباسیلوس* به دست آمد و کمترین مقدار آن برابر با ۴۶/۳۶ تن در هکتار از عدم استفاده *اسیدی‌تیوباسیلوس* حاصل گردید. مقایسه میانگین اثر سطوح کود گوگرد (شکل ۲) نیز نشان داد بیشترین مقدار عملکرد غده برابر با ۵۷/۱۶ تن در هکتار به تیمار ۱۲۰۰ کیلوگرم گوگرد و کمترین مقدار آن به تیمار عدم استفاده از کود گوگرد برابر با ۴۲/۵ تن در هکتار مربوط بود. همچنین بین تیمار شاهد (عدم استفاده از گوگرد) و تیمار کاربرد گوگرد به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی داری مشاهده نشد و در یک گروه آماری قرار گرفتند. به نظر می‌رسد با افزایش میزان کود گوگرد و *اسیدی‌تیوباسیلوس*، عمل اکسیداسیون بیولوژیکی

گوگرد بیشتر می‌شود، به‌طوری‌که قابلیت جذب عناصر غذایی توسط سیب‌زمینی بیشتر شده و با رشد بهتر ریشه و اندام هوایی، عملکرد غده بیشتر می‌شود. شرفی و همکاران (۲۰۱۰) در یک بررسی گزارش نمودند که به‌شرط وجود ماده آلی در خاک، استفاده از *اسیدی‌تیوباسیلوس* و کود گوگرد می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد دانه کلزا داشته باشد. بشارتی (۲۰۱۷) طی مطالعه‌ای گزارش کرد کاربرد *تیوباسیلوس* و کود گوگرد بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و مقدار فسفر جذب شده توسط بخش هوایی گندم تأثیر مثبتی داشت. نتایج پژوهشی به‌منظور بررسی اثر گوگرد و *اسیدی‌تیوباسیلوس* بر عملکرد و کیفیت محصول کلزا نشان داد که مصرف گوگرد به همراه *اسیدی‌تیوباسیلوس* باعث افزایش عملکرد دانه این گیاه زراعی گردید (رحیمیان ۲۰۱۱). گانگاردارا و همکاران (۱۹۹۰) در بررسی سطوح مختلف کود گوگرد در آفتابگردان مشاهده کردند که مصرف گوگرد، عملکرد دانه و غلظت ریزمغذی‌ها را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، به‌طوری‌که عملکرد دانه از ۹۶۰ به ۲۳۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت.

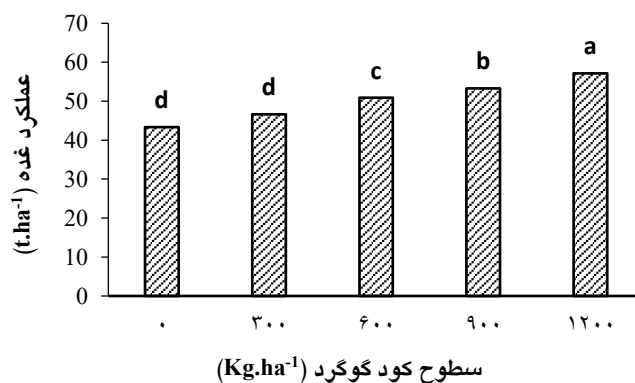
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کود گوگرد و کاربرد *تیوباسیلوس* بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی

| منابع تغییر              | درجه آزادی | تعداد غده در بوته  | وزن غده در بوته    | عملکرد غده         | عملکرد بیولوژیک    | شاخص برداشت       |
|--------------------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| تکرار                    | ۲          | ۰/۷۲**             | ۱۳۳۰ <sup>ns</sup> | ۷/۷ <sup>ns</sup>  | ۲۰/۴ <sup>ns</sup> | ۳/۱ <sup>ns</sup> |
| <i>تیوباسیلوس</i>        | ۱          | ۰/۰۶ <sup>ns</sup> | ۶۳۶۵۶۳/۳**         | ۲۰۹۰/۵**           | ۲۱۵۹/۳**           | ۳۷۳/۸**           |
| گوگرد                    | ۴          | ۰/۶۸ <sup>ns</sup> | ۳۷۴۳۴/۶**          | ۵۰۲/۳**            | ۱۲۶/۵**            | ۲۶/۵**            |
| گوگرد* <i>تیوباسیلوس</i> | ۴          | ۰/۰۹ <sup>ns</sup> | ۷۷/۹ <sup>ns</sup> | ۱۱/۷ <sup>ns</sup> | ۳/۶ <sup>ns</sup>  | ۱/۹ <sup>ns</sup> |
| خطا                      | ۱۸         | ۱۳/۷۱              | ۶۹۴/۸              | ۲۵/۸               | ۱۱/۳               | ۵/۷               |
| ضریب تغییرات (%)         |            | ۱۲/۹۱              | ۲/۵۴               | ۲/۳۵               | ۳/۴۰               | ۳/۵۵              |

ns، \* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد غده سیب زمینی تحت تاثیر باکتری/اسیدی تیوباسیلوس



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد غده سیب زمینی تحت تاثیر سطوح کود گوگرد

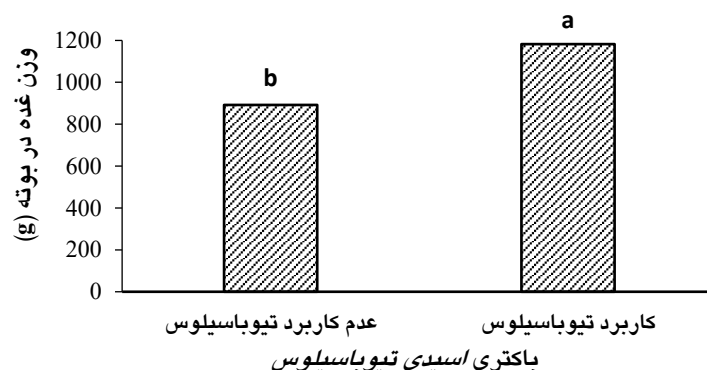
#### تعداد غده در بوته

بر اساس نتایج ارائه شده جدول (۲) اثر گوگرد، باکتری/اسیدی تیوباسیلوس و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد غده در بوته معنی دار نشد.

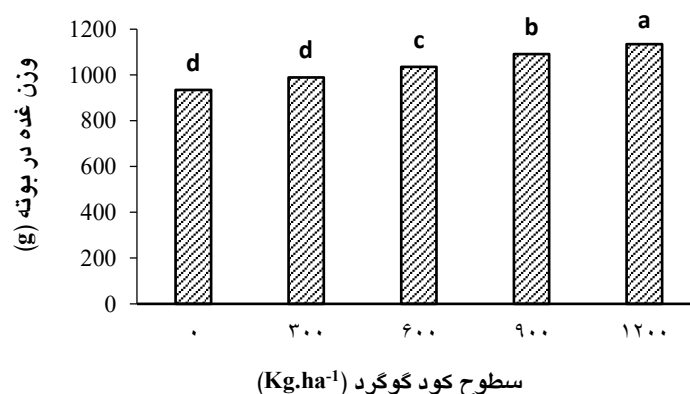
#### وزن غده در بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفات مرتبط با عملکرد جدول (۲) اثر گوگرد و باکتری/اسیدی تیوباسیلوس بر وزن غده در بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۵ و ۶)، بیشترین وزن غده در بوته (۱۱۳۴/۱۷ و ۱۱۸۲/۶۷ گرم) به ترتیب از تیمارهای کاربرد ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و استفاده از اسیدی تیوباسیلوس و کمترین وزن غده در بوته (۹۳۵ و ۸۹۱/۳۳ گرم) به ترتیب از تیمارهای شاهد و عدم استفاده

از اسیدی تیوباسیلوس به دست آمد. نتایج پژوهشی نشان داد که با افزایش کاربرد کود گوگرد عملکرد دانه گندم افزایش یافت (جلیلی و همکاران ۲۰۱۳). همچنین مؤمن و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که افزایش میزان گوگرد سبب افزایش معنی دار عملکرد دانه و وزن هزاردانه‌ی گندم شد. سنگیل و همکاران (۱۹۹۰) در پژوهشی نشان دادند کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد موجب افزایش عملکرد دانه و وزن خشک شاخساره سویا شد اما بیشترین عملکرد دانه و وزن هزاردانه با کاربرد هم‌زمان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و باکتری/اسیدی تیوباسیلوس به دست آمد.



شکل ۳- مقایسه میانگین وزن غده در بوته تحت تاثیر باکتری اسیدی تیوباسیلوس



شکل ۴- مقایسه میانگین وزن غده در بوته تحت تاثیر سطوح مختلف کود گوگرد

### عملکرد بیولوژیک

بیولوژیک نیز می‌شود. نتایج آزمایشی نشان داد که کاربرد کود گوگرد و باکتری اسیدی تیوباسیلوس به افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه گندم منجر شد. افزایش عملکرد بیولوژیک گندم به کاهش pH خاک و به تبع آن افزایش دسترسی به فسفر موجود در خاک نسبت داده شد (بشارتی ۲۰۱۷).

### شاخص برداشت

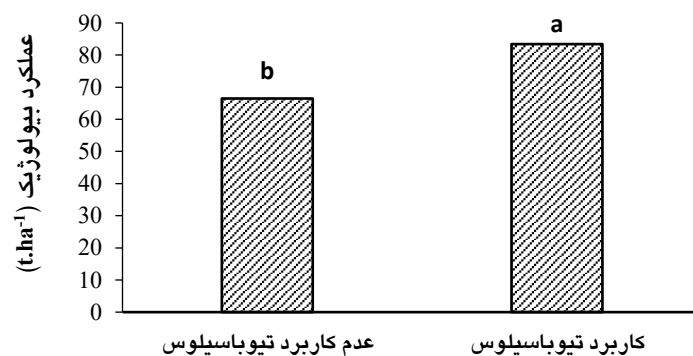
بر اساس نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس جدول (۲) اثرات کاربرد گوگرد و باکتری اسیدی تیوباسیلوس بر شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۹ و ۱۰)، بیشترین شاخص برداشت (۷۰/۲۴ و ۷۰/۹۱ درصد) به ترتیب از تیمارهای کاربرد ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و استفاده از اسیدی تیوباسیلوس و کمترین شاخص برداشت (۶۴/۸۱ و

بر اساس نتایج ارائه شده جدول (۲) اثر گوگرد و باکتری اسیدی تیوباسیلوس بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۵ و ۶)، بیشترین عملکرد بیولوژیک در هکتار (۸۱/۱۳ و ۶۹/۷۸ تن) به ترتیب از تیمارهای کاربرد ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و استفاده از اسیدی تیوباسیلوس و کمترین عملکرد بیولوژیک در هکتار (۶۶/۴۸ و ۶۹/۷۸ تن) از تیمارهای شاهد و عدم استفاده از اسیدی تیوباسیلوس به دست آمد. بین تیمارهای کاربرد ۶۰۰ و ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و شاهد از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و در یک گروه آماری قرار گرفتند. با توجه به اینکه کود گوگرد و استفاده از باکتری اسیدی تیوباسیلوس عملکرد غده را افزایش داده است (شکل ۷ و ۸)، این افزایش بالطبع باعث افزایش عملکرد



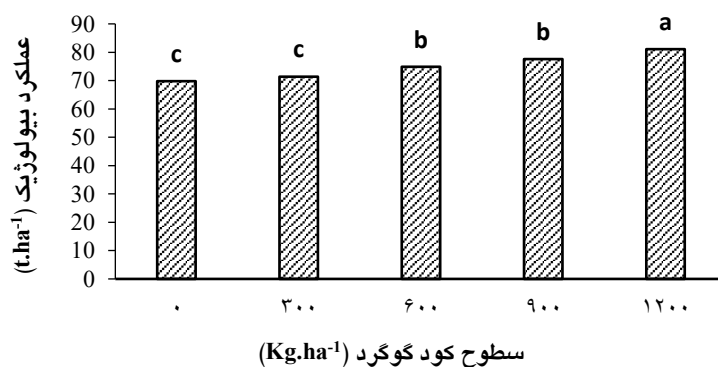
تیمارهای استفاده شده در این تحقیق باعث افزایش عملکرد غده شده است، از این رو این افزایش عملکرد غده شاخص برداشت را افزایش داده است.

۶۳/۸۵ درصد) به ترتیب از تیمارهای کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد و عدم استفاده از باکتری/اسیدی تیوباسیلوس به دست آمد. با توجه به اینکه

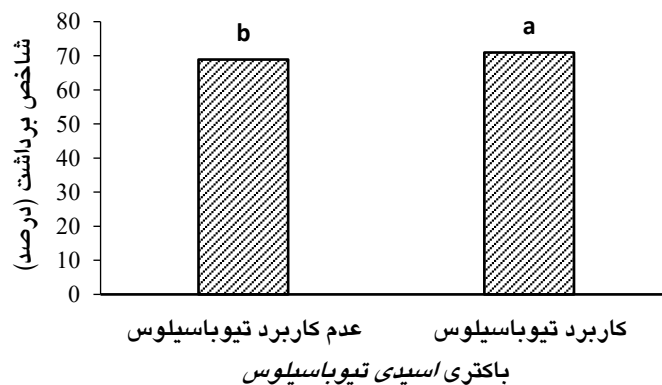


باکتری اسیدی تیوباسیلوس

شکل ۵- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تاثیر باکتری/اسیدی تیوباسیلوس



شکل ۶- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک سیب زمینی تحت تاثیر سطوح مختلف گوگرد



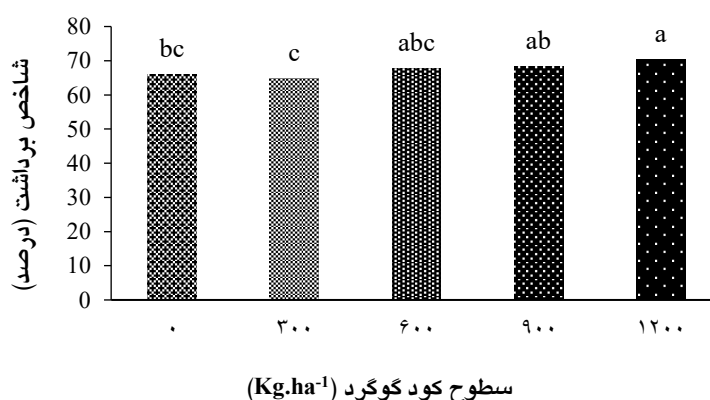
باکتری اسیدی تیوباسیلوس

شکل ۷- مقایسه میانگین شاخص برداشت تحت تاثیر سطوح باکتری/اسیدی تیوباسیلوس

## درصد ماده خشک

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول (۲)، میزان ماده خشک غده تحت تأثیر کود گوگرد و کاربرد باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* در سطح ۱ درصد معنی دار شد، ولی اثر متقابل گوگرد و *اسیدی تیوباسیلوس* در میزان ماده خشک غده اختلاف معنی دار نبود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل‌های ۹ و ۱۰)، بیشترین درصد ماده خشک (۱۹/۱۶ و ۱۹/۱۵ درصد) به ترتیب از تیمارهای کاربرد ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و استفاده از *اسیدی تیوباسیلوس* و کمترین درصد ماده خشک (۱۶/۸۷)

و ۱۶/۶۷ درصد) به ترتیب از تیمارهای کاربرد صفر کیلوگرم در هکتار کود گوگرد و عدم استفاده از باکتری *اسیدی تیوباسیلوس* به دست آمد. همچنین تیمارهای صفر و کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد در یک گروه آماری قرار گرفتند و با هم اختلاف معنی دار نداشتند. طبق گزارش ابی و همکاران (۲۰۰۲) مصرف گوگرد باعث افزایش ماده خشک پیاز شد. نتایج مطالعه‌ی دیگری نشان داد که کاربرد گوگرد اثر معنی داری بر عملکرد ذرت داشت و باعث افزایش ماده‌ی خشک آن شد (ما و همکاران ۲۰۲۱).

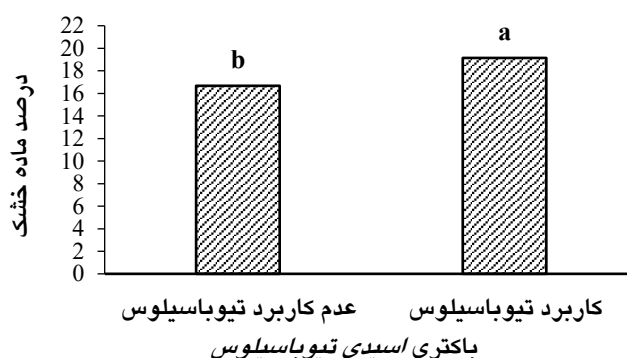


شکل ۸- میانگین شاخص برداشت سیب زمینی تحت تاثیر سطوح مختلف کود گوگرد

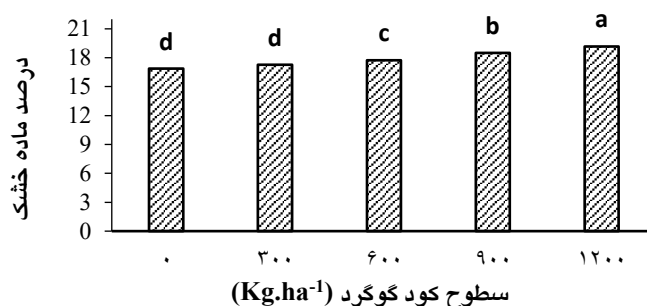
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کود گوگرد و کاربرد *اسیدی تیوباسیلوس* بر برخی صفات کیفی غده سیب زمینی

| منابع تغییر                    | درجه آزادی | میانگین مربعات      |                     |                     |
|--------------------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                |            | درصد ماده خشک       | درصد نشاسته غده     | نیترات غده          |
| تکرار                          | ۲          | ۰/۰۳ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۲ <sup>ns</sup>  | ۴/۲۳ <sup>ns</sup>  |
| <i>اسیدی تیوباسیلوس</i>        | ۱          | ۴۶/۰۱ <sup>**</sup> | ۰/۰۰۲ <sup>ns</sup> | ۲/۷۱ <sup>ns</sup>  |
| گوگرد                          | ۴          | ۵/۱۶ <sup>**</sup>  | ۲۸/۸۰ <sup>**</sup> | ۲۷/۷۹ <sup>**</sup> |
| گوگرد* <i>اسیدی تیوباسیلوس</i> | ۴          | ۰/۱۷ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۱ <sup>ns</sup>  | ۳/۷۰ <sup>ns</sup>  |
| خطا                            | ۱۸         | ۰/۱۱                | ۰/۰۱                | ۱/۷۰                |
| ضریب تغییرات (%)               |            | ۱/۸۳                | ۱/۸۵                | ۲/۱۹                |

ns، \* و \*\* به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.



شکل ۹- مقایسه میانگین درصد ماده خشک تحت تاثیر سطوح باکتری/اسیدی تیوباسیلوس



شکل ۱۰- میانگین درصد ماده خشک سیب زمینی تحت تاثیر سطوح مختلف گوگرد

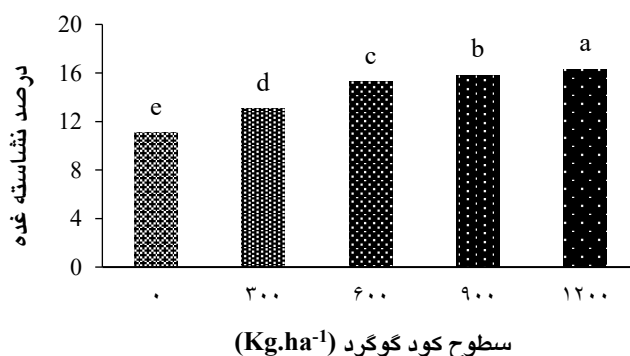
برگ شده و به تبع آن باعث افزایش ذخیره‌ی نشاسته در گیاه می‌شود (سنگیل و همکاران ۱۹۹۸). تأمین فسفر موردنیاز گیاه از طریق کاهش pH خاک، باعث افزایش درصد ماده‌ی خشک و تسهیل در تبدیل قندها به نشاسته می‌شود (قبادی و همکاران ۲۰۱۳).

#### محتوی نیتрат غده

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، میزان نیترات غده تحت تأثیر کود گوگرد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد، ولی کاربرد باکتری/اسیدی تیوباسیلوس و اثر متقابل کود گوگرد و باکتری/اسیدی تیوباسیلوس در میزان نیترات غده اختلاف معنی‌داری ایجاد نکردند (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۲)، بیشترین میزان نیترات غده (۶۸/۹۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) از تیمار کاربرد صفر کیلوگرم در هکتار گوگرد و کمترین میزان

#### درصد نشاسته غده

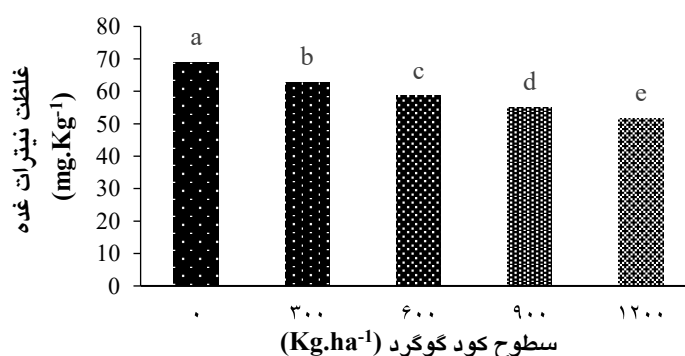
بر اساس نتایج تجزیه واریانس، درصد نشاسته غده به طور معنی‌داری تحت تأثیر کود گوگرد قرار گرفت، ولی کاربرد باکتری/اسیدی تیوباسیلوس و اثر متقابل گوگرد و اسیدی تیوباسیلوس در میزان نشاسته غده اختلاف معنی‌داری ایجاد نکردند (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۱)، بیشترین درصد نشاسته (۱۶/۳۱ درصد) از تیمار کاربرد ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و کمترین درصد نشاسته (۱۱/۰۷ درصد) از تیمار عدم کاربرد کود گوگرد به دست آمد. نشاسته مهم‌ترین ماده سیب‌زمینی را تشکیل می‌دهد و یکی از شاخص‌های مهم در کیفیت سیب‌زمینی می‌باشد (وانگ و همکاران ۲۰۲۱). کاربرد کود گوگرد باعث کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و پتاسیم می‌شود (گلمرادی مرانی و همکاران ۲۰۱۷). در آزمایش حاضر نیز استفاده از کود گوگرد به افزایش فسفر خاک منجر شد (شکل ۱۵). به نظر می‌رسد وجود گوگرد در خاک، از طریق افزایش حلالیت فسفر موجب بهبود شرایط رشد و افزایش غلظت کلروفیل و فتوسنتز



شکل ۱۱- مقایسه میانگین درصد شناسه غده تحت تاثیر سطوح مختلف کود گوگرد

جز ساختار آنزیم نیتريت ردوكتاز است كه در كلروپلاست سلول مسئول احياى يون نيتريت و نهايتاً كاهش تجمع نيترات در غده سيب زمينى مى باشد. از سوى ديگر كاهش مقدار نيتروژن در سطوح بالاى کاربرد گوگرد مى تواند ناشى از رابطه آنتاگونيستى بين گوگرد و نيتروژن باشد كه با افزايش کاربرد گوگرد و افزايش غلظت گوگرد در گياه، ميزان جذب نيتروژن توسط گياه كاهش مى يابد (گلمرادى مرانى و همكاران ۲۰۱۷). نتايج مطالعه اى حاكى از آن بود كه کاربرد گوگرد به ميزان ۱۰۰۰ كيلوگرم در هكتار ميزان نيترات سير را به ميزان ۳۵ درصد نسبت به تيمار شاهد كاهش داد (سيلسپور ۲۰۲۱).

نيترات غده (۵۱/۵۵ ميلي گرم در كيلوگرم) از تيمار کاربرد ۱۲۰۰ كيلوگرم در هكتار کود گوگرد به دست آمد. تجمع نيترات در غده سيب زمينى به عوامل مختلفى از جمله، مقدار و نوع کود نيتروژن، دوره رشد، شدت نور، دما و زمان برداشت بستگى دارد (پاېرزنى و همكاران ۲۰۱۵). با توجه به اينكه تحت تيمارهاى اعمال شده اسيدپته خاك كاهش پيدا كرده است، به نظر مى رسد گياه عناصر غذايى بيشترى جذب كرده باشد و با فتوسنتز بيشتر، عملكرد مطلوب ترى داشته باشد و با توجه به اينكه مصرف کود نيتروژن به صورت يكسان انجام شد، تيمارهاى كه عملكرد غده بيشترى داشتند، در نهايت نيتروژن كمترى به صورت نيترات در غده ذخيره كرده اند. نتايج تحقيقات مويد اين مطلب است كه گوگرد



شکل ۱۲- مقایسه میانگین غلظت نيترات غده تحت تاثیر سطوح مختلف کود گوگرد

### نيتروژن خاك

بر اساس نتايج تجزيه واريانس، ميزان نيتروژن خاك به طور معنئى دارى تحت تأثير کود گوگرد قرار گرفت، ولى اثر اسيدى تيوباسيلوس و اثر متقابل گوگرد و

اسيدى تيوباسيلوس در ميزان نيتروژن خاك معنئى دار نبود (جدول ۴). بر اساس نتايج مقايسه ميانگين (شكل ۱۳)، بيشترين ميزان نيتروژن خاك (۰/۵۱ درصد) از تيمار کاربرد ۱۲۰۰ كيلوگرم در هكتار گوگرد و كمترين

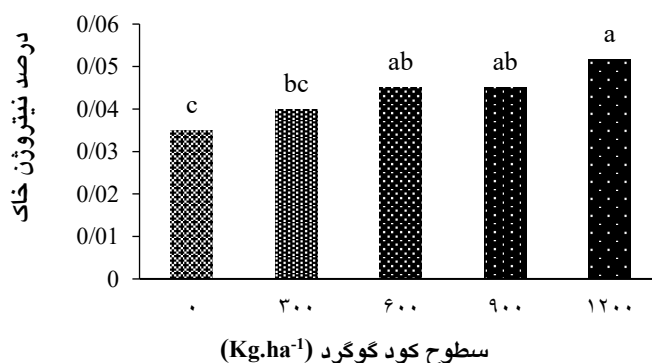
بازدهی نیتروژن مصرفی ضروری می باشد. فضیلی و همکاران (۲۰۱۰) با انجام پژوهشی گزارش کردند که فقدان گوگرد کارایی کود نیتروژن اضافه شده را محدود می کند. بنابراین، افزودن گوگرد برای دستیابی به حداکثر بازده کود نیتروژنی اعمال شده ضروری است.

میزان نیتروژن خاک (۰/۰۳۵ درصد) از تیمار عدم کاربرد کود گوگرد به دست آمد. به نظر می رسد استفاده از کود گوگرد در کل سبب افزایش فراهمی نیتروژن خاک شده است. جمال و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند کمبود گوگرد باعث کاهش فراهمی عنصر نیتروژن در خاک شده و افزودن گوگرد به خاک جهت دستیابی به حداکثر

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر کود گوگرد و کاربرد/اسیدی تیوباسیلیوس بر غلظت عناصر غذایی و pH خاک

| منابع تغییر             | درجه آزادی | نیتروژن خاک          | فسفر خاک            | پتاسیم خاک          | pH خاک              |
|-------------------------|------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| تکرار                   | ۲          | ۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۰۳ <sup>ns</sup> | ۵/۲۰ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۰۳ <sup>ns</sup> |
| اسیدی تیوباسیلیوس       | ۱          | ۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۹۰ <sup>**</sup> | ۱۰/۸۰ <sup>ns</sup> | ۰/۲۹ <sup>**</sup>  |
| گوگرد                   | ۴          | ۰/۰۲ <sup>**</sup>   | ۰/۰۷ <sup>**</sup>  | ۶/۹۵ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۲ <sup>**</sup>  |
| گوگرد*اسیدی تیوباسیلیوس | ۴          | ۰/۰۰۰۳ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۲ <sup>ns</sup> | ۱۹/۳۸ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۴ <sup>ns</sup> |
| خطا                     | ۱۸         | ۰/۰۰۲                | ۰/۰۰۲               | ۱۲/۴۵               | ۰/۰۰۳               |
| ضریب تغییرات (%)        |            | ۵/۵۷                 | ۲/۰۹                | ۳/۲۰                | ۱/۶۱                |

ns, \* و \*\* به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین درصد نیتروژن خاک تحت تاثیر سطوح کود گوگرد

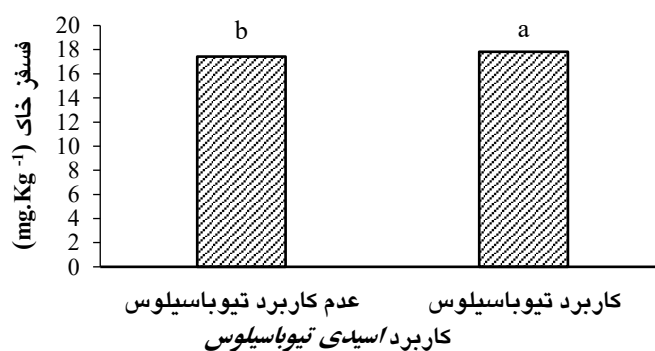
کاربرد کود گوگرد و عدم استفاده از باکتری/اسیدی تیوباسیلیوس به دست آمد. به نظر می رسد کاهش pH خاک از طریق کاربرد کود گوگرد و اسیدی تیوباسیلیوس، شرایط بهتری را برای حلالیت فسفر که به مقدار اسیدیته خاک وابسته می باشد، فراهم کرده است. باکتری/اسیدی تیوباسیلیوس و گوگرد قادرند با کاهش میزان اسیدیته اطراف خود و نیز به کمک فرآیندهای آنزیمی، فسفر نامحلول خاک را به صورت اسیدهای آلی فسفره و فسفر سبک آزاد کرده و تحرک و جذب این عنصر را در خاک افزایش دهند (مگرای و

#### میزان فسفر خاک

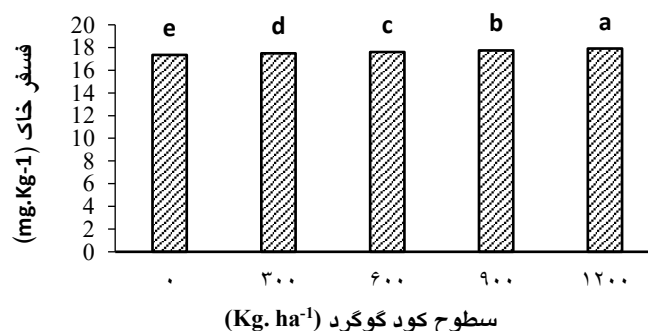
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثرات استفاده از باکتری/اسیدی تیوباسیلیوس و کاربرد کود گوگرد بر میزان فسفر خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل آن ها معنی دار نشد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین ها (شکل های ۱۴ و ۱۵)، بیشترین میزان فسفر خاک (۱۷/۹۱ و ۱۷/۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم) به ترتیب از تیمارهای کاربرد ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و استفاده از اسیدی تیوباسیلیوس و کمترین میزان فسفر خاک به ترتیب از تیمارهای عدم

همکاران ۲۰۱۷). از سوی دیگر بسیاری از محققین گزارش کرده‌اند اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک باعث کاهش pH خاک و افزایش دسترسی به فسفر و عناصر کم مصرف می‌شود و باکتری تیوباسیلوس باعث تسریع این فرایند می‌شود (جمال و همکاران ۲۰۱۰). در خاک‌های با pH بالا گوگرد نه تنها به‌عنوان عنصر غذایی مورد نیاز گیاه، بلکه بیشتر به‌لحاظ اثرات جانبی مفید آن در اسیدی کردن موضعی خاک و افزایش قابلیت انحلال سایر عناصر از جمله فسفر اهمیت پیدا می‌کند (جان و همکاران ۲۰۲۱). اکسیداسیون گوگرد باعث ایجاد مقادیر قابل توجهی اسیدهای معدنی قوی می‌شود که این اسیدها در خاک باعث حل شدن فسفر و سایر مواد معدنی می‌شود که این عمل برای گیاهان مفید است (مگرای و همکاران ۲۰۱۷). تأثیر مصرف گوگرد و

باکتری *اسیدی‌تیوباسیلوس* بر جذب عناصر غذایی صرف نظر از مقدار آن‌ها، تحت تأثیر سطوح سایر عناصر غذایی موجود در خاک ازجمله فسفر است که این مسئله می‌تواند با استفاده از تغییرات pH و متعاقباً تغییرات غلظت عناصر در این شرایط توضیح داده شود (بشارتی ۲۰۱۷). کاپاوه و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که جذب فسفر توسط لوبیا با افزایش مقدار گوگرد افزایش می‌یابد در این آزمایش نیز تیمار ۱۲۰۰ کیلوگرم بیشترین تعداد غده و عملکرد را داشته است که نشان از فراهمی فسفر قابل جذب در خاک در اثر کاربرد کود گوگرد می‌باشد. در تحقیق نوروزی و همکاران (۲۰۱۸) نیز بیشترین مقدار فسفر خاک در تیمار کاربرد گوگرد و *اسیدی‌تیوباسیلوس* گزارش شد که همسو با نتایج حاصل از تحقیق حاضر می‌باشد.



شکل ۱۴- مقایسه میانگین غلظت فسفر خاک تحت تأثیر سطوح باکتری *اسیدی‌تیوباسیلوس*



شکل ۱۵- مقایسه میانگین غلظت فسفر خاک تحت تأثیر سطوح مختلف کود گوگرد

#### مقدار پتاسیم خاک

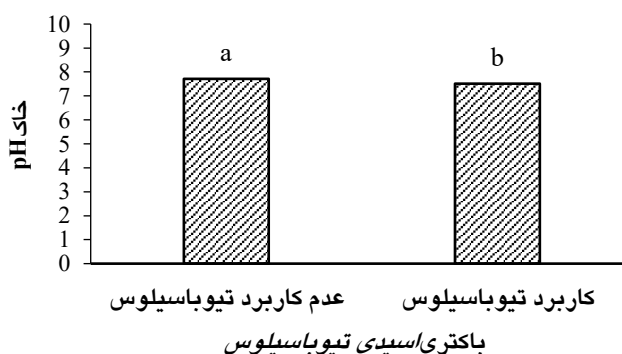
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) اثرات سطوح کود گوگرد و کاربرد باکتری

*اسیدی‌تیوباسیلوس* و اثر متقابل این دو فاکتور بر مقدار پتاسیم خاک معنی‌دار نشد.

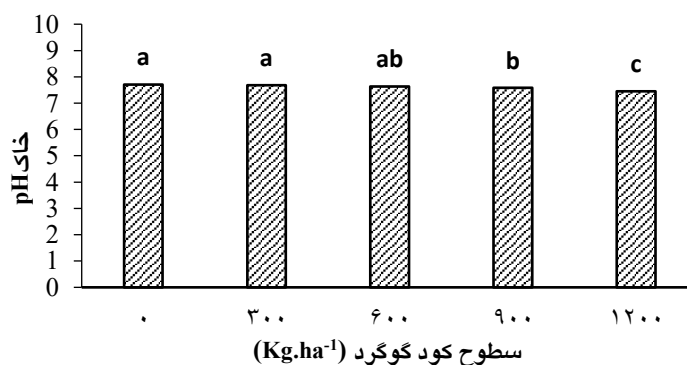
## pH خاک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثرات کاربرد کود گوگرد و اسیدی تیوباسیلوس بر pH خاک معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد. تیمار کاربرد گوگرد ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار دارای کمترین مقدار pH و تیمار شاهد دارای بیشترین مقدار pH بود (شکل ۱۶). مقایسه‌ی میانگین pH خاک متأثر از سطوح باکتری اسیدی تیوباسیلوس نیز نشان داد کاربرد اسیدی تیوباسیلوس به کاهش pH خاک منجر شد (شکل ۱۷). به نظر می‌رسد مصرف کود گوگرد و باکتری اسیدی تیوباسیلوس کارایی خوبی در خاک نشان داده

است، به‌طوری‌که با افزایش میزان کود گوگرد و اسیدی تیوباسیلوس، اسیدیته خاک بیشتر کاهش یافته است. گوگرد در خاک و در حضور باکتری‌های اکسیدکننده‌ی گوگرد (اسیدی تیوباسیلوس)، به اسید سولفوریک تبدیل شده و موجب کاهش pH خاک می‌شود (واینرایت ۱۹۹۴). دیلمقانی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کرد از کود گوگرد می‌توان به‌منظور کاهش pH خاک‌های قلیایی و آهکی و افزایش حلالیت عناصر تثبیت شده در این خاک‌ها استفاده کرد. استمفورد و همکاران (۲۰۰۳) طی آزمایشی مشاهده کردند که کاربرد کود گوگرد نسبت به گچ، EC و pH خاک را بیشتر کاهش داد.



شکل ۱۶- مقایسه میانگین pH خاک تحت تاثیر سطوح باکتری اسیدی تیوباسیلوس



شکل ۱۷- مقایسه میانگین pH خاک تحت تاثیر سطوح مختلف کود گوگرد

## نتیجه‌گیری

بر اساس تجزیه و تحلیل تیمارهای مورد آزمایش در این تحقیق، اثر فاکتورهای مورد بررسی بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی صفات کیفی سیبزمینی و همچنین برخی خصوصیات شیمیایی خاک مثبت ارزیابی شد و در یک سال زراعی نتایج مطلوبی به دست داد. نتایج

نشان داد استفاده از کود گوگرد و باکتری اسیدی تیوباسیلوس عملکرد محصول را افزایش داد. در تیمار ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد بیشترین میزان نشاسته و ماده‌ی خشک غده حاصل شد. استفاده از باکتری اسیدی تیوباسیلوس و گوگرد باعث کاهش pH خاک شد. کاهش pH خاک در اثر کاربرد کود گوگرد و

## سیاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه کردستان و مدیریت محترم مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان جهت همکاری در بخش‌های مختلف انجام پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

اسیدی‌تیوباسیلوس، شرایط بهتری را برای حلالیت فسفر که به مقدار اسیدیته خاک وابسته می‌باشد، فراهم کرد و سبب افزایش میزان فسفر قابل جذب خاک گردید. به‌طور کلی کاربرد ۱۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار و باکتری اسیدی‌تیوباسیلوس در کنار مصرف کودهای شیمیایی پایه‌ی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای افزایش عملکرد و کیفیت محصول سیب‌زمینی پیشنهاد می‌شود.

## منابع مورد استفاده

- Ahmadi M, Shahsavani S, Abasdokht H, Asghari HR and Gharanjik S. 2018. Effect of vermicompost, sulfur and *Thiobacillus* on some soil physico-chemical properties, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in Jovain District. Journal of Agroecology, 9(4): 1031-1049. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.50902>
- Abbey L, Joyce DC, Aked J and Smith B. 2002. Genotype, sulfur nutrition and soil type effects on growth and dry matter production of spring onion. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 77(3): 340-345. <https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511503>
- Anonymous. 2020. Agricultural statistics: crops. Ministry of Agriculture-Jahad, Deputy of Planning and Economics, Information and Communication Technology Center. (In Persian).
- Asadi Rahmani H, Khavazi K, Jahandideh Mahjen Abadi VA, Ramezanpour MR, Mirzapour MH and Mirzashahi K. 2018. Effect of *Thiobacillus*, sulfur, and phosphorus on the yield and nutrient uptake of canola and the chemical properties of calcareous soils in Iran. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 49(14): 1671-1683. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474905>
- Besharati H. 2017. Effects of sulfur application and *Thiobacillus* inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. Journal of Plant Nutrition, 40 (3): 447-456. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1245326>
- Boroujerdnia M, Ansari NA and Dehcordie FS. 2007. Effect of cultivars, harvesting time and level of nitrogen fertilizer on nitrate and nitrite content, yield in Romaine lettuce. Asian Journal of Plant Sciences, 6(3): 550-553. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.550.553>
- Brown J and Lilleland O. 1946. Rapid determination of potassium and sodium in plant materials and soil extracts by flame photometry. In Proceedings of the American Society for Horticultural Science, North Saint Asaph Street, Alexandria, Va 22314-1998: pp. 341-346
- Bremner JM and Mulvaney CS. 1982. Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties, Page AL, Miller RH and Keeney DR. (Eds.), American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 595-624.
- Cottrell JE, Duffus CM, Paterson L and Mackay GR. 1995. Properties of potato starch: effect of genotype and growing conditions. Phytochemistry, 40(4): 1057-1064. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(95\)00390-S](https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)00390-S)
- Dilmaghani MR, Hemmaty S and Naseri L. 2012. Effects of sulfur application on soil pH and uptake of phosphorus, iron and zinc in apple trees. Journal of Plant Physiology and Breeding, 2 (1): 1-10.
- Eskandari A, Khazaie HR, Nezami A and Kafi M. 2011. Study the Effects of irrigation regimes on yield and some qualitative characteristics of three cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). Journal of Water and Soil 25 (2), 240-247. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.9299>
- Fazili IS, Masoodi M, Ahmad S, Jamal A, Khan JS and Abdin MZ. 2010. Interactive effect of sulfur and nitrogen on growth and yield attributes of oilseed crops (*Brassica campestris* L. and *Eruca sativa* Mill.) differing in yield potential. Journal of Plant Nutrition, 33: 1216-1228. <https://doi.org/10.1080/01904161003765745>



- Gangardhara GA, Manju HM and Satyanarayana T. 1990. Effect of Sulfur on yield oil content of sunflower and uptake of micronutrients by plants. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 38(4): 692-695.
- Ghobadi M, Jahanbin S, Owliaie H, Motalebifard R and Parvizi K. 2013. The effect of phosphorus biofertilizers on yield and phosphorus uptake in potato. *Water and Soil Science*, 23: 2. 125-138. (In Persian with English Abstract)
- Golmoradi Marani F, Barmaki M, Sedghi M and Firoozi MJ. 2017. Effect of sulfur fertilizer and thiobacillus on qualitative traits and nutrients concentration of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Ecophysiology*, 9(29): 113-124. (In Persian with English Abstract).
- Hassanpanah D. 2010. Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under in vitro and in vivo conditions. *Biotechnology* 9: 164-9. <https://doi.org/10.3923/biotech.2010.164.169>
- Hlaysova D, Tucek J, and Turek B. 1970. Effect of fertilizer on the content of nitrates in potatoes. *Český Hygiene*, 15: 203-207.
- Hoque ME. 2010. In vitro tuberization in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Plant Biology*, 3(1): 7-11.
- Hussain SA, Ahmad K, Arif-un-Nisa Naqvi TK, Ahmed M, Nafees MH and Abass Q. 2014. The colossal influence of biological fertilization on medicinal and aromatic plants. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*; 5(5): 299- 314.
- Jalili F, Nasrolah-Zadeh Asl A and Valiloo R. 2013. Effects of sulfur and manure fertilizer on yield and protein of wheat (var. Zarin). *Journal of Research in Crop Sciences*, 5: 71-84. (In Persian with English Abstract).
- Jamal A, Yong Sun M and Malik Z. 2010. Sulphur -a general overview and interaction with nitrogen. *Australian Journal of Crop Science*. 4(7): 523-529.
- Johan PD, Ahmed OH, Omar L and Hasbullah NA. 2021. Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. *Agronomy*, 11 (10): 2010. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102010>
- Kachhavae KG, Gawand SD and Kohire OD. 1997. Influence of various sources and levels of sulphur on nodulation, yield of and uptake of nutrients by chickpea. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 45: 590-591.
- Kelly DP, and Wood AP. 2000. Reclassification of some species of *Thiobacillus* to the newly designated genera *Acidithiobacillus* gen. nov., *Halothiobacillus* gen. nov. and *Thermithiobacillus* gen. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 50(Pt 2), 511-516. <https://doi.org/10.1099/00207713-50-2-511>
- Lachman J, Hamouz K, Orsak M. and Pivec V. 2001. Potato glycoalkaloids and their significance in plant protection and nutrition. *Rost Vyroba*, 47: 181-1912.
- Ma YZ, Zhang H, Xue YF, Gao YB, Qian X, Dai HC, Liu KC, Li QQ and Li ZX. 2021. Effect of sulfur fertilizer on summer maize grain yield and soil water utilization under different irrigation patterns from anthesis to maturity. *Agricultural Water Management*, 250 : 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106828>
- Magray MM, Chattoo MA, Narayan S and Mir SA. 2017. Influence of sulfur and potassium applications on yield, uptake and economics of production of garlic. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*. 5(5): 924-934. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.5095>
- Mirzapour MH, Khavazi K and Naeini MR. 2018. Effect of sulfur, *Thiobacillus* and phosphorous application on canola yield and some soil chemical characteristics. *Journal of Soil Biology*, 5(2): 109-121. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/SBJ.2018.115683>
- Moamen A, Pazoki A and Momayezi MR. 2011. Effects of granular sulfur (bentonitic) and compost on quantitative and qualitative characteristics of bam wheat in semnan. *Journal of Crop Physiology*, 3: 31-47. (In Persian).
- Musafa A, Athar F, Khan I, Chattha MU, Nawaz M, Shah AN, Mahmood A, Batool M, Aslam MT, Jaremko M, Abdelsalam NR, Ghareeb RY and Hassan MU. 2022. Improving crop productivity and nitrogen use

- efficiency using sulfur and zinc-coated urea: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13: 942384. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.942384>
- Nelson DW and Sommers LP. 1982. Total carbon, organic carbon. *American Society Agronomy*, Madison, WI, 539-579. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>
- Noorbakhsh FS, Behdani MA, Jami Al-Ahmadi M and Mahmoodi S. 2014. Evaluation of integrated impact of sulfur and *Thiobacillus* on qualitative and morphological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 6(1): 51-59. (In Persian with English Summary).
- Norouzi, S, Sohrabi A, Khavazi K. and Matinfar HR. 2018. Effect of sulfur application on soil pH and phosphorus availability for wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Soil Biology*, 6(1): 29-41. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/sbj.2018.117145>
- Olsen SR, Cole CV, Watanable FS and Dean LA. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular No. 939. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Pobereżny J, Wszelaczyńska E, Wichrowska D and Jaskulski D. 2015. Content of nitrates in potato tubers depending on the organic matter, soil fertilizer, cultivation simplifications applied and storage. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75 (1): 42-49. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000100006>
- Prabhakar JH, Ram M, Khan MA, Kiran U and Mahmooduzzafar Abdin MZ. 2011. Impact of organic manure and chemical fertilizers on artemisinin content and yield in *Artemisia annua* L. *Industrial Crops and Products*, 33: 296-301. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.011>
- Rahimian Z. 2011. The effects of sulfur and *Thiobacillus* with organic matter on quantitative and qualitative characteristics of rapeseed. *Crop Physiology Journal*, 12: 19-27. (In Persian with English abstract).
- Sangale PB, Palil GD and Daftardar SY. 1998. Effect of foliar application of zinc, iron and boron on yield of safflower. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 6: 65-66.
- Seilsepour M. 2021. Nitrogen and sulfur with *Thiobacillus* bacteria effects on garlic yield and garlic nitrate content and some nutrients availability in soil. *Journal of Horticultural Science*, 34 (4): 563-576. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i4.80398>
- Sharafi S, Abbasdokht H, Chaechechi MR, Ardakani MR and Ghasemi S. 2010. Evaluation of effect of variety, seed inoculation with *Thiobacillus* and various forms of nitrogen application on yield and yield components of winter rapeseed. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41: 459-468. (In Persian with English Abstract).
- Stamford NP, Santos DR, Monura AMM, Santos CE and Freitas AD. 2003. Biofertilizer with natural phosphate, sulphur and *Accidithio bacillus* in a soil with low available-p. *Scientia Agricola*, 60(4): 767-773. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000400024>
- Wainwright M. 1984. Sulfur oxidation in soils. *Advances in Agronomy*, 37: 346-396. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60458-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60458-7)
- Wang F, Wang C, Song S, Xie S, and Kang F. 2021. Study on starch content detection and visualization of potato based on hyperspectral imaging. *Food Science & Nutrition*, 9: 4420-4430. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2415>
- Wang YF, Wang SP, Cui XY, Chen ZZ, Schnug E and Haneklau S. 2003. Effects of sulphur supply on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Grass and Forage Science*, 58(2): 160-167. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2003.00366.x>
- Zare A, Asgharipour MR and Fakheri BA. 2018. Effects of organic, biological and chemical fertilizers on quantitative traits of seedless barberry. *Journal of Plant Production*, 25(1): 87-100. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/jopp.2018.13827.2239>