

## مقاله پژوهشی

# اثرهای کوتاه‌مدت کاربرد کود حیوانی، گوگرد و کود زیستی سولفو بارور-۱ بر برخی ویژگی‌های زیستی خاک در یک خاک آهکی

اسماعیل کریمی\*<sup>۱</sup>، سید بهمن موسوی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۷

۱- استادیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۲- دانشیار پیدایش، رده‌بندی و ارزیابی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

\* مسئول مکاتبات، آدرس پست الکترونیک: sm\_ka80@yahoo.com

## چکیده

اگر چه افزودن گوگرد عنصری به خاک‌های آهکی در جهت رفع اختلالات تغذیه‌ای ناشی از pH بالا مدیریتی مطلوب به شمار می‌رود، اما تأثیر این شیوه مدیریتی بر فعالیت‌های زیستی خاک آن‌چنان که بایستی مورد توجه قرار نگرفته است. به این منظور آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه سطح گوگرد عنصری (صفر، یک و دو درصد)، ماده آلی در دو سطح (کاربرد کود گاوی پوسیده شده یک درصد و عدم کاربرد)، کود زیستی سولفو بارور-۱ (مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی) در یک خاک با ۱۶ درصد آهک به مدت ۶۰ روز در سه تکرار اجرا گردید. نتایج نشان دادند که کاربرد گوگرد توانست تنفس برانگیخته خاک را از  $0.52 \text{ (mgCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{soil h}^{-1}\text{)}$  به ۱ در سطح یک درصد و دو درصد گوگرد و همچنین سهم متابولیک خاک را از  $4/7 \text{ (}\mu\text{gCO}_2\text{-C mg}^{-1}\text{C}_{\text{mic}}\text{ h}^{-1}\text{)}$  به ترتیب به  $12/7$  و  $17/4$  در سطوح مذکور افزایش دهد. اگر چه اثر کاربرد کود حیوانی و مایه‌زنی با کود زیستی برای دو شاخص مذکور معنادار نشد ولی بیشترین کربن زیست‌توده میکروبی با مقدار  $0.13 \text{ mgC}_{\text{mic}}\text{ g}^{-1}\text{C}_{\text{soil}}$  و تنفس پایه خاک به میزان  $0.23 \text{ (mgCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{soil h}^{-1}\text{)}$  واحد در تیمار کاربرد کود دامی به همراه دو درصد گوگرد به دست آمد. شاخص سهم میکروبی نیز در اثر کاربرد گوگرد از  $1/77 \text{ (mgC}_{\text{mic}}\text{ g}^{-1}\text{C}_{\text{soil}})$  به  $1/05$  کاهش پیدا کرد ولی با کاربرد کود حیوانی همراه با دو درصد گوگرد میزان آن به  $2/38 \text{ (mgC}_{\text{mic}}\text{ g}^{-1}\text{C}_{\text{soil}})$  افزایش یافت. بنابراین، با توجه به اثرهای مثبت ماده آلی در بهبود ویژگی‌های زیستی خاک، کاربرد گوگرد صرفاً به همراه ماده آلی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: pH خاک، تنفس پایه، سهم میکروبی خاک، سهم متابولیک خاک، کربن زیست‌توده میکروبی خاک

## Short-Term Effects of Organic Manure, Sulfur, and Sulfo-Barvar-1 Biofertilizer on Some Biological Properties of a Calcareous Soil

E Karimi<sup>\*1</sup>, S B Mosavi<sup>2</sup>

Received: July, 17, 2021

Accepted: April, 6, 2022

1-Assist. Prof. of Soil Biology and Biotechnology, Soil Science Department, University of Maragheh, Iran.

2-Assoc. Prof. of Soil Genesis, Classification and Evaluation, Soil Science Department, University of Maragheh, Iran.

\* Corresponding Author, Email: sm\_ka80@yahoo.com

### Abstract

#### Background and Objectives

Most of the soils in Iran are affected by over-accumulation of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ). It is estimated that more than 87 percent of the agricultural soils have more than 5% equivalent calcium carbonate. In these soils, the addition of elemental sulfur is known to be desirable for the elimination of nutritional disorders which has been caused by high pH. Sulfur could reduce soil pH and increase the bioavailability of elements like Fe, P and, etc. Such management also may change the environmental conditions around microbes in the soil and alter their activities in soil media. Soil quality is strongly depending on soil pH so, it will be affected by sulfur application in the soil. However, the impact of this management on soil biological activities has not received adequate attention. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of sulfur as well as its integrated application with animal manure and Sulfo Baravar-1 containing sulfur oxidizing bacteria on the biological parameters of a calcareous soil.

#### Methodology

An unfertile soil sample was picked up from non-cultivated condition having 16% lime content. A factorial experiment as randomized complete blocks design was conducted with the elemental sulfur application (zero (S0), 1 % (S1), and 2 % (S2)), organic manure from cow waste (application of 1% cow manure and non-application), inoculation of Sulfo Baravar-1 Biofertilizer (inoculation and non-inoculation). The effects of treatments on soil pH and soil biological properties such as soil organic matter (SOM), soil respiration, microbial biomass carbon (MBC), and substrate induced respiration (SIR) were investigated for 60 days after treatments. Soil microbial metabolic quotient ( $q\text{CO}_2$ ), soil microbial quotient ( $q_{\text{mic}}$ ) and, the ratio of  $q\text{CO}_2/\text{SIR}$  were calculated as well.

#### Findings

The results showed that, addition of sulfur, sulfur plus organic manure and, Sulfo Baravar-1 inoculation decreased soil pH. Most pH reduction was occurred at 2% sulfur application. In response to soil pH variation, soil respiration increased with different patterns between the treatments. Although, the sulfur application could increase soil basal respiration but, the highest value was seen in organic manure plus 2% sulfur treatment. Despite increasing of  $\text{CO}_2$  emission from the soil due to respiration, the meaningful variation in SOM was not seen in sulfur treatments. Organic manure application increased SOM content by 0.15 %. MBC increased by 52% and 72 % respectively in 1% and 2% sulfur application in respect to control. Organic manure application along with sulfur had a positive effect on MBC, but this trait was not affected by Sulfo Baravar-1 inoculation. The ratio of  $q\text{CO}_2/\text{SIR}$  was reduced by sulfur application up to 98% in S1 and 400% in S2 treatments, respectively. The sulfur application with Sulfo Baravar-1 inoculation and without its inoculation decreased  $q_{\text{mic}}$  by

47% and 80%, respectively. While, sulfur application along with manure shifted this trend vice versa and  $q_{mic}$  increased 34% in respect to control (S0). Sulfur application also increased substrate induced respiration at S1 and S2 at a rate of 90% and 94%, respectively, and increased metabolic coefficient ( $qCO_2$ ) in S1 and S2 treatments 2.7 and 370%, respectively in respect to control.  $q_{mic}$  and SIR were not affected by organic manure application and Sulfo Baravar-1 inoculation to the soil. Based on the results, there was a linear correlation between soil microbial biomass carbon, soil basal respiration ( $R^2=0.98$ ) and  $qCO_2$  ( $R^2=0.82$ ). Substrate induced respiration had a relatively weaker correlation with soil microbial biomass carbon ( $R^2=0.27$ ).

## Conclusion

All the treatments decreased soil pH compared to controls but, more decline of soil pH was observed in 2% sulfur applied treatments especially in organic manure plus sulfur application. SOM quantity and quality are important factors of soil quality as well as its sustainability. Sulfur application plus organic manure had a positive effect on SOM content, and  $q_{mic}$  as an index of SOM quality. Therefore, the application of animal manure along with sulfur will increase soil quality as well as improves the soil pH. Due to the destructive effects of the sole application of elemental sulfur on soil biological traits, the application of sulfur is recommended with organic manure for the soils rich in calcium carbonate.

**Keywords:** Basal respiration, Metabolic quotient, Microbial biomass carbon, Microbial quotient, Soil pH

## مقدمه

غلظت بالای کلسیم و pH بالا از مشکلات خاک-های آهکی در امر تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌رود چرا که با تثبیت برخی از عناصر غذایی مانند فسفر، آهن و روی و کاهش زیست‌فراهمی آن‌ها همراه بوده و علاوه بر این، باعث کاهش راندمان کودهای شیمیایی فسفر، آهن و روی در کاربردهای خاکی می‌شود. لذا راه حل پایه‌ای در این مورد اصلاح خاک در جهت کاهش pH آن می‌باشد (پاتیراتنا ۱۹۸۹). در بین موادی که برای اسیدی کردن خاک به کار می‌روند گوگرد عنصری با توجه به اینکه یکی از محصولات جانبی صنعت پتروشیمی کشور است، می‌تواند به عنوان راه حل اقتصادی برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی با بهبود شرایط خاکی توصیه گردد (بشارتی و همکاران ۲۰۱۴). با توجه به اینکه عوامل زیستی و غیرزیستی زیادی بر این فرایند تأثیرگذار است، لذا نتایج حاصل از کاربرد گوگرد اغلب غیرقابل پیش‌بینی بوده و نیازمند مطالعه و بررسی است (تاباک ۲۰۲۰). کریمی‌نیا و

شهرستانی (۲۰۰۳) در یک تحقیق آزمایشگاهی بر روی ۵ نوع خاک نشان دادند که کاربرد گوگرد در غلظت‌های صفر، ۰/۲ درصد و ۰/۴ درصد می‌تواند با تحریک فعالیت میکروبی‌های هتروتروف اکسید کننده گوگرد باعث افت ۰/۲ واحد در میزان pH برخی از خاک‌ها گردد. در طی یک تحقیق در یک خاک آهکی با ۲۰ درصد آهک، میرزاپور و همکاران (۲۰۱۷) با کاربرد مقادیر صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه ۲ درصد مایه تلقیح باکتری تیوباسیلیوس توانستند pH خاک را از ۷/۷۶ در تیمار بدون گوگرد به ترتیب به مقادیر ۷/۶۸، ۷/۴۶ و ۷/۴۲ در تیمارهای گوگردی کاهش دهند. همچنین ایشان گزارش کردند که با کاربرد گوگرد و در نتیجه افزایش زیست‌فراهمی فسفر، آهن و روی عملکرد کلزا افزایش پیدا می‌کند. غلامی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیر کاربرد تیوباسیلیوس و قارچ میکوریزا در سطوح مختلف گوگرد شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش کردند که کاربرد گوگرد به همراه تیوباسیلیوس باعث افزایش معنی‌دار آهن و میزان فسفر

(آموندسان ۲۰۰۱). ریزجانداران خاک با تأثیر مستقیم در تنظیم، ذخیره‌سازی و رهاسازی مواد آلی خاک نقش مهمی را در جریان یافتن کربن بازی می‌کنند (گلیزنر ۲۰۱۳). با توجه به حجم عظیمی از مواد آلی که در خاک‌ها وجود دارد دستیابی به دانش اینکه مدیریت تغذیه‌ای گیاه در خاک چقدر در این امر دخالت دارد، می‌تواند به مدیریت کلان نظیر بازخوردهای آن در تغییرات اقلیمی که می‌تواند با رهایش کربن از خاک به شکل گاز دی‌اکسید کربن متاثر گردد، کمک کند (بردفورد و همکاران ۲۰۱۶).

اگر چه تحقیقات زیادی در مورد تأثیر گوگرد بر تحرک عناصر تغذیه‌ای عناصر در خاک و تأثیر آن بر کیفیت و کمیت برخی از محصولات کشاورزی انجام شده است اما تأثیر این شیوه مدیریتی بر سلامتی و کیفیت خاک از نظر ویژگی‌های زیستی خاک کمتر بررسی شده است. درک رفتار ریزجانداران در خاک در پاسخ به روش‌های به زراعی به کارگرفته شده در جهت بهبود و یا حفظ کیفیت خاک با گذشت زمان کمک خواهد نمود، چرا که تغییر در فعالیت‌های میکروبی و ترکیب جوامع میکروبی خاک می‌تواند به‌طور مستقیم حاصلخیزی خاک و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (کرسوو و همکاران ۲۰۰۷). برخی از ویژگی‌های زیستی خاک که در زمره مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت خاک نیز محسوب می‌شوند، به شیوه‌های مختلف مدیریت خاک و هر گونه تغییر در خاک، حساس بوده و می‌توانند برای این منظور مورد استفاده قرار بگیرند (سوزا و همکاران ۲۰۱۲). مطالعات نشان داده‌اند که تعیین کربن زیست‌توده میکروبی<sup>۱</sup> خاک امکان ارزیابی سریعتر تغییرات را در مقایسه با ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک فراهم می‌کند (گارسیا و همکاران ۲۰۱۳). علاوه بر این، جمع‌آوری اطلاعات در مورد تنفس پایه<sup>۲</sup>، سهم متابولیک<sup>۳</sup> و سهم

اندام هوایی ذرت در سطح ۱۰۰ گوگرد شد. هم چنین با کاربرد گوگرد pH خاک به صورت خطی کاهش یافته و از ۸ به ۷/۲ در سطح ۲۰۰ میلی‌گرم مصرف گوگرد رسید، حضور باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس روند کاهش pH را بهبود بخشید.

اسیدیته خاک یکی از مهمترین عوامل کنترل کننده و تأثیرگذار بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک مانند تجزیه آلاینده‌های آلی، معدنی شدن ماده آلی، فعالیت‌های آنزیمی و شاخص‌های میکروبی اکوفیزیولوژیکی می‌باشد (نینا ۲۰۱۹). ترکیب جوامع میکروبی خاک به شدت وابسته به pH خاک بوده (بالتروس و همکاران ۲۰۱۷) و به طور مستقیم و غیر مستقیم از اسیدی شدن خاک به ویژه در مقادیر کمتر از ۵/۵ متاثر خواهند شد، در این شرایط غلظت بالای هیدروژن با تخریب غشای سیتوپلاسمی و تغییر شکل آنزیم‌های میکروبی موجب اختلال در تکثیر آن‌ها خواهد گردید که نتیجه آن کاهش کیفیت و حاصلخیزی خاک خواهد بود (بیرگاندر و همکاران ۲۰۱۴). اغلب باکتری‌ها در محدوده pH خنثی بهترین عملکرد را دارند (زیفکاکوا ۲۰۲۰) در حالی که شرایط اسیدی خاک مطلوب قارچ‌ها بوده و کاهش pH با هم زدن توازن میان جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها موجب غالبیت جمعیت قارچی می‌شود (روستاک و همکاران ۲۰۱۰). این پدیده روند تجزیه بقایای گیاهی را تغییر خواهد داد، چرا که قارچ‌ها و باکتری‌ها نقش‌های متفاوتی به‌عنوان تجزیه کننده و در نهایت آزادسازی عناصر برای تغذیه گیاهان دارند، علاوه بر این کاهش pH برهمکنش آن‌ها با ماده آلی خاک را تغییر خواهد داد و باعث غیر متحرک شدن عناصر غذایی، کاهش سرعت برگشت ماده آلی و رهاسازی عناصر خواهد گردید (روستاک و همکاران ۲۰۰۹). میزان کربن در اکوسیستم‌های خشکی دو برابر میزان کربن در اتمسفر بوده که تقریباً نصف این مقدار در لایه صفر تا سی سانتی‌متری خاک قرار دارد

<sup>3</sup>Metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>)

<sup>1</sup>Microbial biomass carbon

<sup>2</sup>Basal respiration

کننده گوگرد به دلیل اندک بودن جمعیت آن‌ها، در این مطالعه تلاش گردید تأثیر کاربرد گوگرد عنصری به همراه ماده آلی و مایه‌زنی با کود زیستی سولفو بارور-۱ (شامل باکتری‌های اکسید کننده گوگرد) در دو سری آزمایش مجزا از هم در یک خاک آهکی بر ویژگی‌های اکوفیزیولوژیکی خاک مورد بررسی قرار گیرد.

میکروبی<sup>۴</sup> نیز در ارزیابی اثر انواع مدیریت‌ها بر خاک بسیار مفید واقع شده‌اند (کاسچوک و همکاران ۲۰۱۰). با توجه به توصیه‌های محققان کشور در مورد افزودن گوگرد همراه با ماده آلی با توجه به کمبود ماده آلی در اغلب خاک‌های کشور و پیامد آن عدم فعالیت بهینه اکسیدکنندگان هتروتروفی گوگرد و یا کاربرد گوگرد همراه با مایه‌زنی خاک با باکتری‌های اتوتروف اکسید

## مواد و روشها

### نمونه‌برداری و آماده سازی خاک

برای این منظور از یک خاک آهکی با مشخصات جدول ۱ در روستای ملاقاسم با مختصات ۳۷/۲۹۸۶

عرض و ۴۶/۵۰۷۳ طول جغرافیایی، که با نمونه‌برداری مرکب تهیه شده بود، استفاده گردید. خاک مورد نظر پس از انتقال به آزمایشگاه از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و آماده اعمال تیمار گردید.

جدول ۱- مشخصات خاک مورد استفاده در این مطالعه.

قابلیت هدایت الکتریکی (dS m <sup>-1</sup> )	pH	کربن آلی (%)	کربنات کلسیم معادل (%)	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	بافت خاک
۱/۲۱	۸/۷	۰/۲۵	۱۶	۵	۲۰۰	۳/۲	۰/۳	لوم شنی

### تیمارهای مورد مطالعه و قالب آماری طرح

این مطالعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار با تیمارهای گوگرد در سه سطح صفر (شاهد)، یک و دو درصد، مایه‌زنی باکتری در دو سطح، مایه‌زنی با سولفو بارور-۱ (مایه تلقیح تجاری) و عدم مایه‌زنی و ماده آلی در دو سطح صفر و یک درصد در آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشگاه مراغه انجام شد. کود زیستی سولفو بارور-۱ (شامل دو نوع باکتری تیوباسیلوس) با جمعیت میکروبی ۱۰<sup>۷</sup> تا ۱۰<sup>۸</sup> واحد تشکیل دهنده کلونی در یک گرم مایه تلقیح ساخت شرکت زیست فناور سبز از بازار فروش کود و سم در شهرستان مراغه تهیه و بر اساس شیوه کاربرد روی جلد آن (اختلاط هر بسته یک کیلوگرمی کود زیستی با ۵۰ کیلوگرم گوگرد عنصری) مورد استفاده قرار گرفت. کود زیستی مذکور جهت اکسایش گوگرد در خاک‌های

کشاورزی کاربرد دارد. مقادیر گوگرد این مطالعه نیز بر اساس مشاهدات میدانی و بر اساس میزان کاربرد آن در باغات سیب شهرستان مراغه انتخاب گردید.

### اندازه گیری pH خاک

برای این منظور گل اشباع خاک هر تیمار در بشر ۵۰ میلی‌لیتر تهیه و پس از یکساعت، pH نمونه‌ها با pH متر خوانده شد.

### اندازه گیری روند تنفس خاک در مدت زمان ۶۰ روز

معادل ۱۰۰ گرم خاک آون خشک از هر تیمار با رطوبت ظرفیت مزرع‌ای درون ظروف پلاستیکی درب-دار ریخته شده، سپس مقدار ۲۰ میلی‌لیتر سود نیم نرمال داخل بشر ۴۰ میلی‌لیتری درون همان ظرف روی خاک قرار داده شد. سپس درب ظروف جهت جلوگیری از تبادلات گازی با محیط بیرون محکم بسته شده و در

<sup>4</sup>Microbial quotient

سود ۰/۵ نرمال درون ظروف روی خاک قرار داده شد. سپس درب ظروف محکم بسته شده و به مدت ۸ ساعت در آزمایشگاه با همان شرایط قبلی نگهداری شدند. میزان کربن معدنی شده ناشی از سوبسترای افزوده شده با توجه به میزان خروج دی اکسید کربن محاسبه شده و با واحد

$(\text{mgCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{soil h}^{-1})$  گزارش گردید. لازم به ذکر است که تمامی آزمایش‌های مربوط به تنفس خاک در سه تکرار انجام شده و از نمونه‌های بدون خاک به‌عنوان شاهد استفاده گردید.

#### اندازه‌گیری کربن زیست‌توده میکروبی

کربن توده زنده میکروبی از تفاوت تنفس خاک تدخین شده با کلروفورم و خاک تدخین نشده طی ۱۰ روز انکوباسیون به دست آمد (علی‌اصغرزاد ۲۰۱۱). پس از اتمام آزمایش مرحله قبل، خاک موجود در آن‌ها به دو قسمت مساوی تقسیم شد. یکی از نمونه‌ها در دمای معمولی آزمایشگاه نگهداری شدند و نمونه‌های دیگر پس از ۲۴ ساعت تدخین با کلروفورم با یک گرم خاک تدخین نشده، تلقیح شدند و مقدار دی‌اکسیدکربن آزاد شده طی ۱۰ روز در هر دو نمونه تدخین شده و تدخین نشده اندازه‌گیری گردید. تفاوت مقادیر کربن به دست آمده برای دو نمونه تدخین شده و تدخین نشده به‌عنوان مقدار کربن آزاد شده از تجزیه اجساد میکروبی به‌عنوان زیست‌توده میکروبی در نظر گرفته شد. برای این منظور دی‌اکسید کربن متصاعد شده از نمونه‌ها ابتدا با رابطه ۱ محاسبه شده و نتیجه محاسبات در رابطه ۲ جایگذاری شده و کربن زیست‌توده میکروبی هر نمونه به دست آمدند. این آزمایش در سه تکرار انجام شده و از نمونه بدون خاک به‌عنوان شاهد استفاده گردید.

$$C = \frac{F_c - UF_c}{K_c} \quad [2]$$

در این رابطه C: کربن زیست‌توده میکروبی خاک،  $F_c$ : برابر است با  $\text{CO}_2\text{-C}$  مقدار کربن متصاعد شده در نمونه تدخین شده،  $UF_c$ : عبارت است از  $\text{CO}_2\text{-C}$  مقدار کربن

آزمایشگاه (در دمای بین ۲۸ تا ۳۱ درجه سلسیوس) نگهداری شدند. به طور منظم در فواصل زمانی یک هفته بشر حاوی سود برداشته شده و معادل آن سود تازه جایگزین گردید. در مرحله بعد سود مذکور در ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته شده، مقدار یک میلی‌لیتر کلرید باریم ده درصد به آن اضافه شده و با اسید کلریدریک ۰/۲۵ نرمال تیترا گردیده و مقدار اسید مصرفی جهت محاسبه میزان سود باقیمانده یادداشت شده و این شیوه تا آخر آزمایش ادامه یافت. مقدار دی‌اکسید کربن متصاعد شده از خاک در اثر تنفس میکروبی از رابطه ۱ محاسبه گردید (علی-اصغرزاد ۲۰۱۱).

$$\text{CO}_2 = \frac{(C-S) \times 0.5 \times 100}{S_w \times \frac{100}{100 + \theta_m}} \quad [1]$$

در این رابطه  $\text{CO}_2$ : میلی‌گرم دی‌اکسید کربن خارج شده از خاک در طی مدت زمان آزمایش در خاک مرطوب معادل با ۱۰۰ گرم خاک آون خشک، C میزان اسید مصرفی برای شاهد، S: میزان اسید مصرفی برای نمونه،  $S_w$ : وزن اولیه خاک مرطوب،  $\theta_m$ : درصد رطوبت وزنی خاک و ۰/۵: فاکتور تبدیل (از آنجایی که ۱ میلی‌لیتر از اسید کلریدریک ۰/۱ مولار معادل ۲/۲ میلی‌گرم  $\text{CO}_2$  می‌باشد، لذا با توجه به غلظت اسید کلریدریک مصرفی در این مطالعه ضریب ۰/۵ برای آن در نظر گرفته شد). مقدار آن بر حسب میلی‌گرم کربن به شکل دی‌اکسید کربن در یک گرم خاک در یک ساعت  $(\text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{soil h}^{-1})$  بیان گردید.

#### تنفس پایه خاک

آخرین تنفس اندازه‌گیری شده در بالا به‌عنوان تنفس پایه خاک نیز در نظر گرفته شده و با واحد  $(\text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{soil h}^{-1})$  گزارش گردید.

#### تنفس برانگیخته خاک

به منظور تعیین تنفس برانگیخته خاک در پایان آزمایش اندازه‌گیری روند تنفس خاک ۱ میلی‌لیتر محلول گلوکز ۱ درصد به‌عنوان سوبسترای آلی قابل دسترس به هر کدام از نمونه‌ها افزوده شده و بلافاصله ۲۰ میلی‌لیتر

میکروبی از تقسیم کربن زیست‌توده میکروبی بر کربن آلی خاک با واحد ( $\text{mgC}_{\text{mic}} \text{g}^{-1} \text{C}_{\text{soil}}$ ) و همچنین نسبت تنفس برانگیخته به زیست‌توده میکروبی محاسبه گردیدند (سوزا و همکاران، ۲۰۱۵).

### طرح آزمایش و تجزیه آماری

آزمایش‌های این پژوهش در قالب فاکتوریل بر مبنای طرح کامل تصادفی انجام گردیده و تجزیه آماری داده‌ها پس از حصول اطمینان از نرمال بودن آنها، با نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

متصاعد شده از نمونه شاهد (تدخین نشده) و KC: بخشی از C زیست‌توده که به  $\text{CO}_2$  معدنی تبدیل شده است و در این مطالعه برابر با ۰/۴۵ در نظر گرفته شد. داده‌های این بخش پس از متناسب‌سازی بر اساس وزن خاک استفاده شده و تبدیل  $\text{CO}_2$  معادل با میزان کربن آن، با واحد ( $\text{mgC}_{\text{mic}} \text{g}^{-1} \text{soil}$ ) گزارش شدند.

### اندازه‌گیری ماده آلی خاک

اندازه‌گیری کربن آلی خاک بر اساس روش والکی و بلاک و بر اساس دستورالعمل موسسه تحقیقات خاک و آب کشور (علی‌احیایی و بهبهانی، ۱۹۹۳) انجام شد.

### سایر ویژگی‌های اکوفیزیولوژیکی

سهم متابولیک از تقسیم تنفس پایه بر زیست‌توده میکروبی با واحد ( $\mu\text{gCO}_2\text{-C mg}^{-1} \text{C}_{\text{mic}} \text{h}^{-1}$ ) و سهم

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های این پژوهش که در جداول ۲ و ۳ ارایه شده است، نشان داد

که تیمارهای آزمایشی می‌توانند صفات زیستی خاک را تحت تأثیر قرار دهند.

جدول ۲ - تجزیه واریانس صفات اکوفیزیولوژیکی خاک در تیمارهای گوگرد و ماده آلی و اثرهای متقابل آنها. کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)، تنفس برانگیخته خاک (SIR)، تنفس پایه (BS)، کربن آلی خاک (OC)، سهم میکروبی ( $q_{\text{mic}}$ ) و سهم متابولیک ( $q_{\text{CO}_2}$ )

MS								df	منابع تغییر
$q_{\text{CO}_2}$	$q_{\text{mic}}$	OC	SIR/BS	BS	SIR	MBC	pH		
۱۲/۸ <sup>ns</sup>	۰/۷۱۶ <sup>**</sup>	۰/۰۹۹ <sup>**</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>**</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>**</sup>	۰/۰۱۸ <sup>ns</sup>	۱	ماده آلی
۲۵۰/۰ <sup>**</sup>	۰/۱۷۰ <sup>*</sup>	۰/۰۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۸۹ <sup>**</sup>	۰/۰۰۰ <sup>**</sup>	۰/۴۷۹ <sup>*</sup>	۰/۰۰۳ <sup>**</sup>	۰/۱۵۴ <sup>*</sup>	۲	گوگرد
۱۴/۲ <sup>ns</sup>	۱/۳۹ <sup>**</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>**</sup>	۰/۲۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>**</sup>	۰/۰۳۸ <sup>ns</sup>	۲	ماده آلی × گوگرد
۲۳	۲۵	۲۳	۲۷	۲۱	۱۸	۲۴	۳		ضریب تغییرات (%)

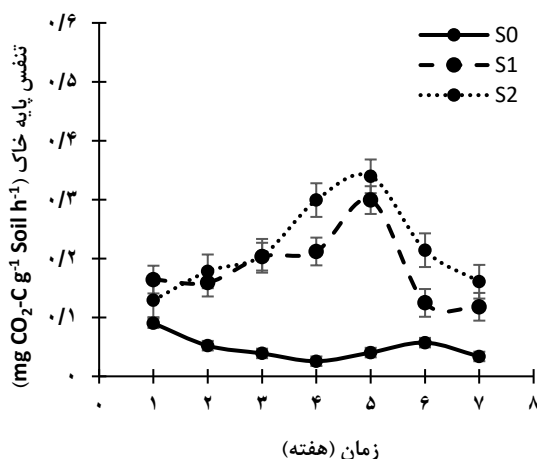
<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنادار، معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳ - تجزیه واریانس صفات اکوفیزیولوژیکی خاک در تیمارهای کود زیستی سولفوبارور-۱ و گوگرد و اثرهای متقابل آنها. کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)، تنفس برانگیخته خاک (SIR)، تنفس پایه (BS)، کربن آلی خاک (OC)، سهم میکروبی ( $q_{\text{mic}}$ ) و سهم متابولیک ( $q_{\text{CO}_2}$ )

MS								df	منبع تغییر
$q_{\text{CO}_2}$	$q_{\text{mic}}$	OC	SIR/BS	BS	SIR	MBC	pH		
۲/۹ <sup>ns</sup>	۱/۲۴۴ <sup>*</sup>	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۱	سولفوبارور-۱
۱۶۹/۳ <sup>**</sup>	۰/۷۵ <sup>*</sup>	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۲۹۷ <sup>**</sup>	۰/۰۰۰ <sup>**</sup>	۰/۲۷۰ <sup>*</sup>	۰/۰۰۱ <sup>**</sup>	۰/۰۶۰ <sup>*</sup>	۲	گوگرد
۱۳/۶۴ <sup>ns</sup>	۰/۹۵۱ <sup>*</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۸۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۹ <sup>ns</sup>	۲	سولفوبارور-۱ × گوگرد
۲۴	۲۶	۱۷	۲۴	۱۸	۱۹	۲۱	۳		ضریب تغییرات (%)

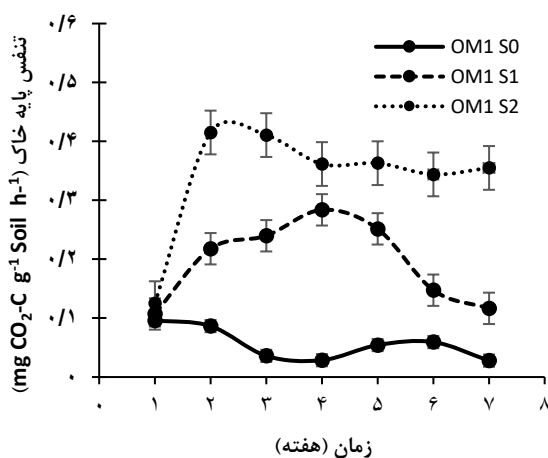
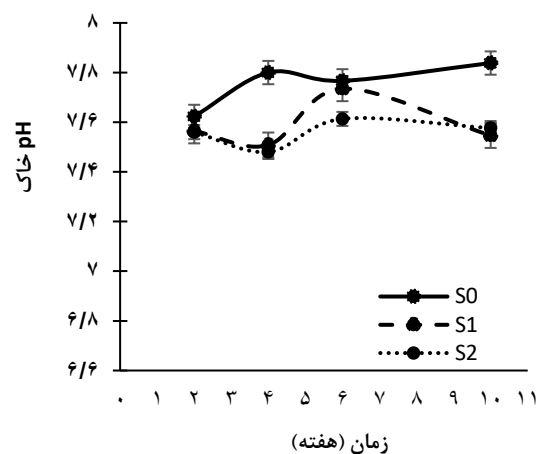
<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنادار، معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

خود افت پیدا کرده است (شکل ۱-ج). با توجه به داده‌های این بخش به نظر می‌رسد که روند اکسایش گوگرد در خاک در اثر مایه‌زنی سولفو بارور-۱ با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتد. علی‌رغم افزایش ماده آلی در سطح صفر گوگرد افزایش مشهودی در تنفس میکروبی خاک دیده نمی‌شود (شکل ۱-ب) که به نظر می‌رسد به سطح اندک عناصر غذایی (جدول ۱) و نقش محدود کننده آن‌ها مرتبط باشد. این یافته‌ها منطبق با یافته‌های سیفیونتس و لیندمن (۱۹۹۳) بوده و طبق گزارش ایشان کاربرد انواع مختلفی از مواد آلی همراه با گوگرد می‌تواند در خاک‌های فقیر از ماده آلی باعث افزایش اکسایش هتروتروفی گوگرد و کاهش pH خاک گردد.

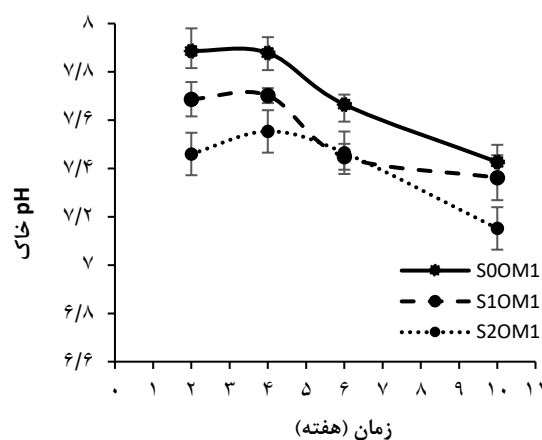


### روند تغییرات pH و تنفس خاک

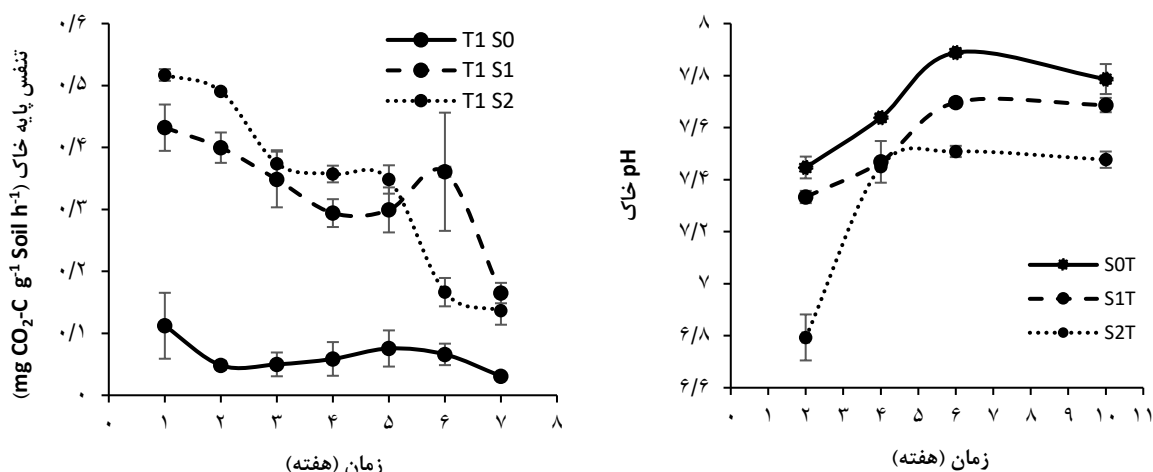
با افزودن گوگرد به خاک pH آن افت کرده (شکل ۱-الف) و در پاسخ به این تغییر روند تنفس خاک زیادتر شده است (شکل ۱-الف). تلفیق کاربرد گوگرد با ماده آلی باعث تغییر در سرعت و روند تغییرات pH خاک و به دنبال آن تغییر روند تنفس خاک در مقایسه با کاربرد گوگرد به تنهایی شده است (شکل ۱-ب). مایه‌زنی گوگرد به همراه سولفو بارور-۱ باعث افت شدید pH تا هفته دوم گردیده و پس از آن روند صعودی گرفته و طی ده هفته به حالت اولیه بازگشته است. تنفس خاک نیز در هفته دوم به حداکثر مقدار خود رسیده و به نظر می‌رسد با افزایش pH روندی کاهشی گرفته و طی هفت هفته به میزان قبلی



### الف







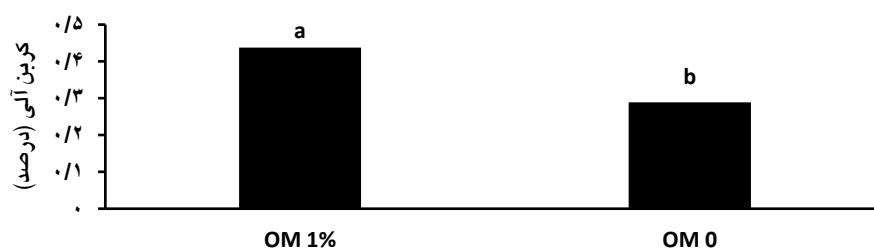
## ج

شکل ۱- روند تغییرات pH و تنفس خاک در تیمارهای مورد مطالعه به ترتیب دو و یک هفته پس از تیمار بندی. الف- اثر کاربرد گوگرد (S0) بدون گوگرد، (S1) افزودن یک درصد گوگرد و (S2) افزودن دو درصد گوگرد، ب- گوگرد در همان سه غلظت مذکور به همراه ماده آلی (OM) به میزان یک درصد و ج- به همراه سولفوبارور-۱ (T) (T)

مطالعه پس از ۶۰ روز توانست کربن آلی خاک را افزایش دهد. کاربرد سولفوبارور-۱ و گوگرد نتوانست تأثیری بر کربن آلی خاک داشته باشد.

## کربن آلی خاک

اثر کاربرد ماده آلی بر این صفت در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (جدول ۲) و موجب افزایش ۵۰ درصدی کربن آلی خاک شد (شکل ۲). اثر بقیه تیمارها غیرمعنادار بود و لذا از کلاس بندی آنها خودداری گردید. کاربرد کود دامی در غلظت یک درصد در این



شکل ۲- تأثیر کاربرد کود گاوی (OM1%) و عدم کاربرد آن (OM0) بر میزان کربن آلی خاک.

حروف مشترک بر روی هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنادار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

کربن از خاک و نهایتاً مصرف ماده آلی خاک شده است. بنابراین به نظر می رسد روش والکلی و بلک روش حساسی نسبت به تغییرات جزئی در ماده آلی خاک نمی باشد. مقدار کربن ذخیره شده در یک متر از خاک سطحی (۱۵۰۰ پیکا گرم کربن) تقریباً ۳ برابر ذخایر موجود در

با توجه به اینکه افزودن گوگرد می تواند با کاهش pH موجب افزایش زیست فراهمی عناصر (بشارتی و همکاران ۲۰۱۴) گردد لذا فعالیت های میکروبی و تنفس خاک (معدنی شدن کربن آلی خاک) (شکل ۱) را در تیمارهای این مطالعه افزایش داده و باعث افزایش خروج دی اکسید

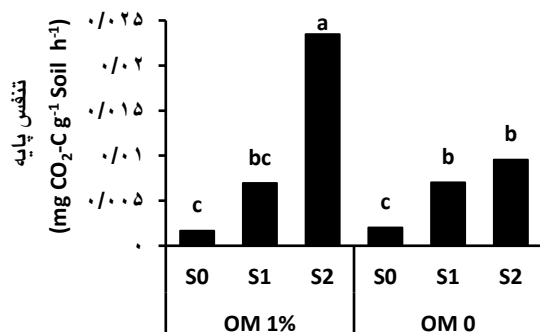
سولفوربارور-۱ بر این صفت معنادار نگردید. نتایج مقایسه میانگین نتایج آزمایشی (شکل ۲) نشان داد که افزودن گوگرد در غلظت یک درصد باعث افزایش ۵۲ درصدی و در غلظت دو درصد باعث افزایش ۷۲ درصدی کربن زیست‌توده میکروبی خاک گردید. افزودن کود دامی به همراه گوگرد در غلظت دو درصد توانست نسبت به شرایط مشابه (گوگرد دو درصد بدون کاربرد کود دامی) باعث افزایش ۴۴ درصدی کربن زیست‌توده میکروبی شود (شکل ۳-الف). به عبارت دیگر کاربرد کود دامی و گوگرد باعث افزایش جمعیت میکروبی خاک شد و کاربرد سولفوربارور-۱ تأثیری بر کربن زیست‌توده میکروبی خاک نداشت.

اثر کاربرد گوگرد، ماده آلی، اثرهای متقابل گوگرد×ماده آلی بر تنفس پایه خاک در سطح احتمال یک درصد معنادار گردیده و اثر سولفوربارور-۱ و اثر متقابل گوگرد×سولفوربارور-۱ بر میزان این صفت غیرمعنادار بود. کاربرد گوگرد در غلظت‌های یک و دو درصد توانست به ترتیب ۲/۵ و ۵ برابر این صفت را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد گوگرد) افزایش دهد. کاربرد ماده آلی در غلظت‌های صفر و یک درصد گوگرد بر این صفت بی تأثیر ولی در غلظت دو درصد باعث افزایش ۱۱ برابری تنفس پایه نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۳-ب).

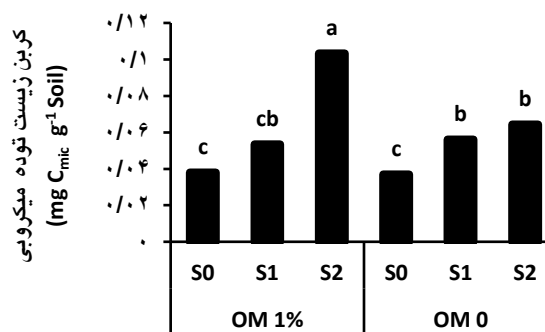
زیست‌توده روی زمین و دو برابر دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر است (جانزن ۲۰۰۴) بنابراین، تغییرات موجود در کربن آلی خاک می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر داشته باشد. طبق گزارش IPCC (بی‌نام ۲۰۱۳)، تغییر کاربری زمین بواسطه فعالیت‌های انسانی سهم ۳۳ درصدی در افزایش انتشار کربن جهانی داشته است (۱۸۰ گیگا تن کربن از سال ۱۷۵۰ تا ۲۰۱۱ ساطع شده است). این امر می‌تواند بواسطه تأثیر بر فرآیندهای تغییر اقلیم تبعات سنگینی را بر محیط زیست داشته باشد. لذا از این منظر این یافته بسیار مهم هست هر چند اظهار نظر در اینخصوص نیازمند مطالعات تکمیلی‌تر می‌باشد چرا که گوگرد دهی منجر به افزایش عملکرد محصول‌های کشاورزی نیز می‌شود (میرزاپور و همکاران ۲۰۱۷) و بنابراین به طور غیر مستقیم در پدیده تثبیت کربن به واسطه گیاهان تأثیرات مثبت خواهد داشت.

### کربن زیست‌توده میکروبی و تنفس پایه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲ و ۳) نشان داد که اثر ماده آلی، گوگرد و اثر متقابل گوگرد×ماده آلی بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنادار بوده ولی اثر سولفوربارور-۱ و اثرهای متقابل گوگرد×



ب



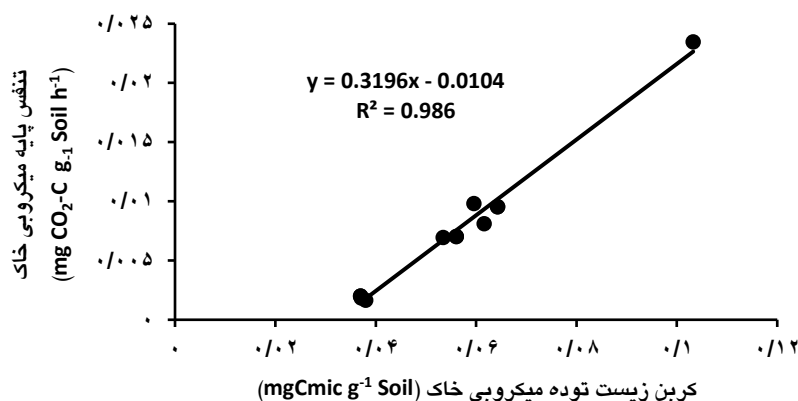
الف

شکل ۳- اثر کاربرد و عدم کاربرد ماده آلی در غلظت صفر (OM0) و یک درصد (OM 1%) همراه با غلظت‌های مختلف گوگرد بر میانگین کربن زیست‌توده میکروبی (الف) و میزان تنفس پایه (ب) در خاک. (S0) بدون گوگرد، (S1) افزودن یک درصد گوگرد و (S2) افزودن دو درصد گوگرد.

حروف مشترک بر روی هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنادار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

داشته و می‌تواند ۹۸ درصد از تغییرات زیست‌توده میکروبی را توجیه نماید (شکل ۴).

بررسی روابط رگرسیونی تنفس پایه با زیست‌توده میکروبی نشان داد که بین این دو رابطه خطی وجود



شکل ۴- رابطه رگرسیونی کربن زیست‌توده میکروبی خاک با تنفس پایه خاک. مدل رگرسیونی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

زندگی میکروبی منطقی به نظر می‌رسد. هرچند باکتری تیوباسیلیوس یک باکتری شیمیولیتوتروف بوده و با پدیده شیمیوسنتز قادر به تثبیت دی‌اکسید کربن و ساخت ماده آلی است، از این رو افزودن آن در قالب کود زیستی به خاک می‌تواند به سبب فراهم نمودن ماده آلی سهل الوصول برای باکتری‌های خاک ناشی از مرگ و میر آن‌ها (یانگ و همکاران ۲۰۱۰) موجب افزایش میزان تنفس خاک همانگونه که در شکل (۱-ج) مشاهده گردید، شود ولی تغییرات pH با افزودن تیوباسیلیوس در بازه زمانی سریعتری اتفاق افتاده و شرایط خاک در پایان دوره ۶۰ روزه به شرایط اولیه از نظر pH و تنفس خاک برگشته است. لذا اثر آن بر زیست‌توده میکروبی و با توجه به ارتباط آن با تنفس پایه (شکل ۴) معنادار نگردید. عدم پاسخ میکروبی به کاربرد ماده آلی در عدم حضور گوگرد احتمالاً بیانگر وجود عوامل محدود کننده همچون عناصر غذایی در خاک مورد مطالعه (جدول ۱) است که امکان بهبود شرایط تغذیه‌ای خاک با کاهش pH خاک در اثر افزودن گوگرد منجر به پاسخ میکروبی به افزودن کود آلی گردیده است. علاوه بر این کاهش pH خاک

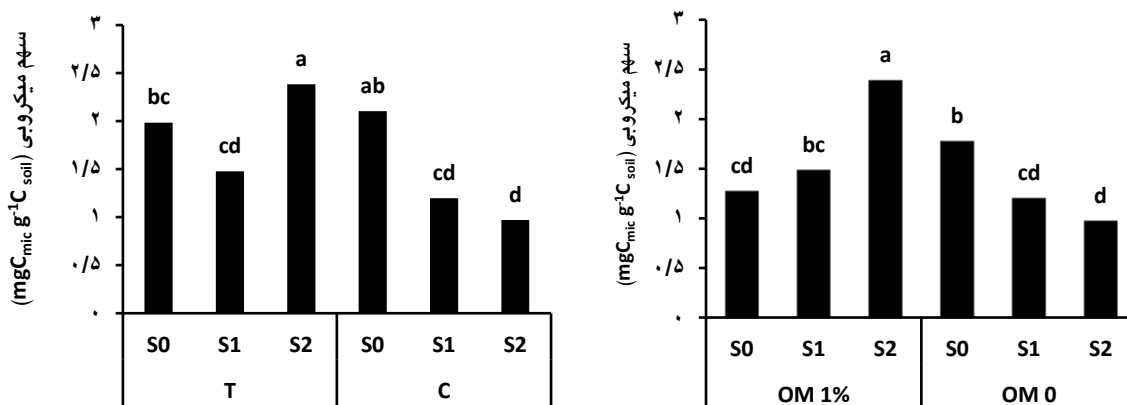
اکسایش میکروبی گوگرد در خاک توسط دو دسته از میکروب‌ها با فیزیولوژی متفاوت قابل انجام هست. دسته اول شیمیولیتوتروف‌ها به‌ویژه تیوباسیلیوس‌ها که جمعیت آن‌ها به دلیل عدم وجود سوبسترای مناسب و در برخی موارد pH نامناسب خاک‌های کشور اندک هست و لذا افزودن مایه تلقیح جهت رفع این ایراد به نظر ضروری می‌رسد (کومار و همکاران ۲۰۲۰) و دسته دوم شیمیوارگانوتروف‌هایی مانند قارچ‌ها، اکتینوباکتری‌ها، باکتری‌ها و مخمرها هستند و از آنجایی که اکسایش به این شیوه نیاز به منابع کربن و انرژی دارد در خاک‌هایی که کمبود ماده آلی دارند، افزایش ماده آلی می‌تواند موجب افزایش اکسایش گوگرد در خاک شود (مومن و همکاران ۲۰۱۱، لاورنس و گرمیدا ۱۹۸۸). روند تغییرات pH خاک (شکل ۱-ب) نشان داد که در غلظت دو درصد گوگرد به همراه ماده آلی، کاهش بیشتر و ماندگار pH در زمان طولانی‌تر در دوره ۶۰ روزه اتفاق افتاده است و بیشترین میزان تنفس خاک (شکل ۱-ب) نیز در این تیمار مشاهده گردید، لذا مشاهده بیشترین میزان افزایش زیست‌توده میکروبی در این تیمار با توجه به بهبود بیشتر شرایط

دخالته در فعالیت میکروبی منجر به بروز تغییرات در میزان ماده آلی خاک و اجزای آن همراه خواهد بود.

### سهم میکروبی

اثر کاربرد ماده آلی و اثر متقابل گوگرد × ماده آلی بر این صفت در سطح احتمال یک درصد و کاربرد گوگرد سولفو بارور-۱ و اثر متقابل آن‌ها بر این صفت در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۲ و ۳). کاربرد گوگرد در سطح یک درصد باعث کاهش ۴۷ درصدی و در سطح دو درصد باعث کاهش ۸۰ درصدی این ویژگی می‌شود. تلفیق کاربرد گوگرد با ماده آلی در غلظت یک درصد بر این ویژگی بی‌تأثیر بوده ولی در غلظت دو درصد باعث افزایش ۳۴ درصدی این صفت نسبت به کاربرد خالص گوگرد گردید. کاربرد ماده آلی بدون گوگرد بر این صفت بی‌تأثیر بود. مایه‌زنی سولفو بارور-۱ در سطوح یک و دو درصد گوگرد بر این صفت بی‌تأثیر ولی کاربرد آن بدون گوگرد باعث کاهش ۶ درصدی سهم میکروبی گردید (شکل ۵).

ناشی از افزودن گوگرد می‌تواند بر حلالیت مواد آلی نامحلول در خاک نیز اثر گذار باشد (استرو و الکساندر ۱۹۸۵) لذا با آزاد شدن این منابع و در دسترس قرار گرفتن آن جمعیت میکروبی خاک می‌تواند از آن بهره‌مند شده و موجب افزایش زیست‌توده میکروبی شود. نتایج متفاوتی نیز در این زمینه گزارش شده است به طوریکه رضایی و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر گوگرد بر زیست‌توده میکروبی را غیرمعنادار گزارش نموده و در مقابل افزایش فعالیت آنزیم فسفاتازهای قلیایی را در خاک گزارش کرده‌اند که دلیلی برای آن ارایه ننموده‌اند. مالیک و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی اثر تغییرات pH در گستره ۴-۸ در خاک‌های بریتانیا، نشان دادند که اولاً زیتوده میکروبی توان بالایی برای ذخیره‌سازی کربن در pHهای نزدیک به خنثی دارد و اسیدیته ۶/۲ را به‌عنوان حد آستانه پاسخ‌های اکوفیزیوژیکی تعیین نمودند، آنها گزارش کردند که هر گونه عملیات به‌زراعی که منجر به افزایش pH خاک در بالاتر از این حد آستانه گردد سبب از بین رفتن ماده آلی خاک به واسطه متابولیسم کارآمدتر می‌شود. لذا هر گونه اعمال تغییر در اسیدیته خاک با



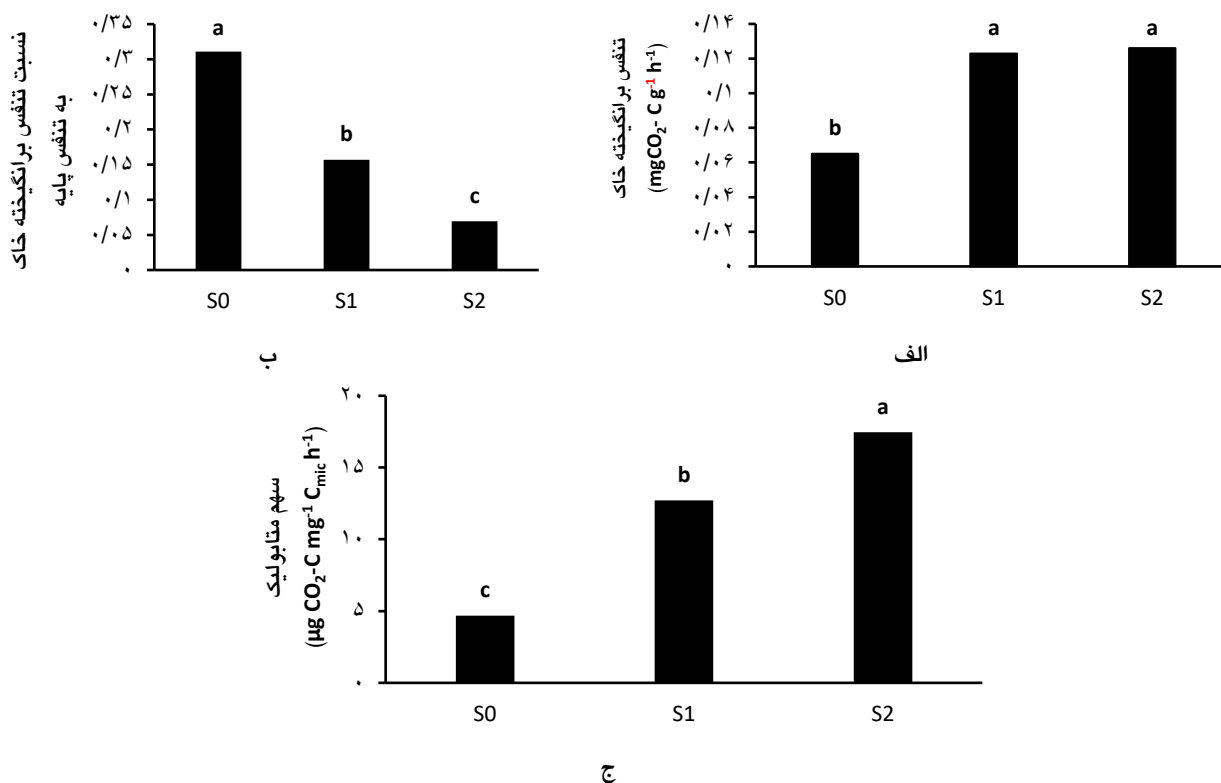
شکل ۵- مقادیر سهم میکروبی خاک از ماده آلی در اثر کاربرد ماده آلی در غلظت صفر (OM0) و یک درصد (OM 1%) و مایه‌زنی سولفو بارور-۱ (T) و عدم مایه‌زنی (C) در غلظت‌های مختلف گوگرد. (S0) بدون گوگرد، (S1) افزودن یک درصد گوگرد و (S2) افزودن دو درصد گوگرد. حروف مشترک بر روی هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنادار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

## تنفس برانگیخته خاک، نسبت تنفس برانگیخته به تنفس پایه خاک و سهم متابولیک

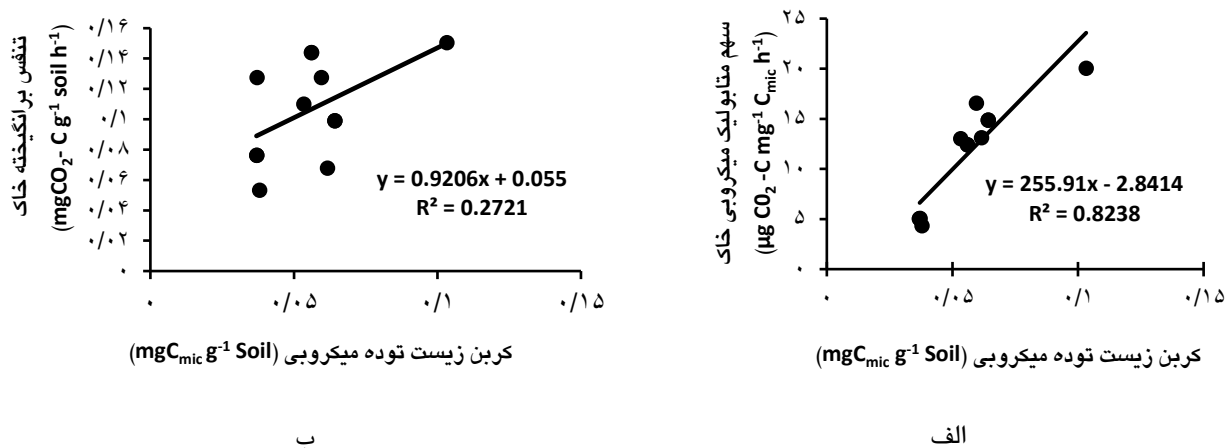
اثر گوگرد بر تنفس برانگیخته و نسبت آن بر تنفس پایه در سطح احتمال ۵ درصد و بر سهم متابولیک خاک در سطح احتمال یک درصد معنادار بود و اثرهای سایر تیمارها و اثرهای متقابل آن‌ها بر این صفات غیرمعنادار بود. کاربرد گوگرد در غلظت‌های یک و دو درصد به میزان متوسط باعث افزایش ۹۵ درصدی میزان تنفس برانگیخته شد (شکل ۶-الف) و نسبت تنفس برانگیخته بر تنفس پایه را به ترتیب ۹۸ درصد و ۴/۴ برابر کاهش داده (شکل ۶-ب) و به ترتیب باعث افزایش ۲/۷ برابری و ۳/۷ برابری سهم متابولیک خاک (شکل ۶-ج) شدند. این اثرها مستقل از کاربرد ماده آلی و یا سولفو بارور-۱ بوده و مربوط به افزودن گوگرد به خاک می‌باشد.

به عبارت دیگر افزودن گوگرد به خاک اگرچه می‌تواند احتمالاً جمعیت فعال برخی از گونه‌های میکروبی خاک را زیاده‌تر کند اما با گذشت زمان و مصرف شدن گوگرد باعث کاهش نسبت آن‌ها به کل جمعیت فعال میکروبی خاک می‌شود. بنابراین احتمال اینکه در اثر افزودن گوگرد تعادل جمعیتی خاک به هم بخورد وجود دارد. این نتایج مطابق با یافته‌های سایر محققان می‌باشد. گوپتا و همکاران (۱۹۸۸) طی چهار سال مطالعه نشان دادند که کاربرد سالیانه گوگرد موجب کاهش فعالیت آنزیم دهیدروژناز شده و در مقابل فعالیت آنزیم‌های آریل سولفات ترانسفراز و فسفاتازهای اسیدی را افزایش داد و جمعیت قارچ‌ها را ۷۷ درصد و جمعیت پروتوزوآ را ۷۷ درصد کاهش و شمار اکسیدکننده‌های آمونیوم و نیتريت را به شدت کاهش داد. رام و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد ۱۵ و ۳۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار زیست‌توده میکروبی خاک، فعالیت آنزیم‌های

دهیدروژناز و آریل سولفاتاز را افزایش داده و باعث کاهش ماده آلی خاک در مقایسه با تیمار شاهد گردید که این تغییرات با افزایش میزان گوگرد دهی به خاک زیاده‌تر شده بود. به نظر می‌رسد افزودن گوگرد به خاک نوعی آشفتنگی در جامعه میکروبی آن ایجاد نموده و حالت ثبات و تعادل را در خاک بر هم می‌زند، بنابراین افزایش سهم متابولیک در اثر افزودن گوگرد منطقی به نظر می‌رسد. سهم متابولیک یا سرعت تنفس ویژه بیانگر  $CO_2-C$  رها شده به ازای واحد زیست‌توده میکروبی در یک زمان مشخص بوده و مقادیر بالای کسر متابولیسی می‌تواند نتیجه عدم توازن جمعیت میکروبی، تغییرات متابولیسی و یا مواجهه جامعه میکروبی با یک بی‌نظمی یا تنش باشد، چرا که در شرایط نامساعد ریزجانداران انرژی زیادی نیاز دارند که نتیجه این امر از دست رفتن بیشتر گاز دی‌اکسید کربن و ورود اندک کربن در بافت میکروب‌ها است (سوزا و همکاران، ۲۰۱۵). مقادیر زیاد سهم متابولیک نشان می‌دهد که فعالیت میکروبی کربن آلی را با کارایی کمتری به زیست‌توده میکروبی خاک تبدیل می‌کند و همچنین از آشفتنگی زیست‌بوم خاک خبر می‌دهد (نینا، ۲۰۱۹). بررسی روابط رگرسیونی نشان داد که سهم متابولیک با زیست‌توده میکروبی خاک رابطه خطی داشته و می‌تواند ۸۲ درصد تغییرات میکروبی را در شرایط این مطالعه توجیه کند (شکل ۷-الف)، بنابراین احتمال اینکه تمام جوامع میکروبی موجود از شرایط جدید متاثر شده باشند، وجود دارد. این تأثیرات باعث شد تا ارتباط قوی میان زیست‌توده میکروبی و تنفس برانگیخته خاک که معمولاً در شرایط پایدار برقرار است، وجود نداشته باشد (شکل ۷-ب).



شکل ۶- اثر کاربرد گوگرد در غلظت‌های صفر (S0)، یک درصد گوگرد (S1) و دو درصد گوگرد (S2) بر میزان تنفس برانگیخته (الف) و نسبت تنفس برانگیخته به تنفس پایه در خاک (ب) و سهم متابولیک خاک (ج). حروف مشترک بر روی هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنادار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.



شکل ۷- رابطه رگرسیونی بین کربن زیست‌توده میکروبی و تنفس برانگیخته و سهم متابولیک. مدل رگرسیونی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

میکروب‌ها موجب افزایش سهم متابولیک و کاهش سهم میکروبی ماده آلی خاک می‌شود. تغییرات یاد شده می‌توانند افت کیفیت خاک را در پی داشته باشند، لذا برای

افزودن گوگرد باعث افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک شده و روند خروج دی اکسید کربن از خاک را تسریع می‌کند. علاوه بر این با تغییر شرایط زندگی

## تشکر و قدردانی

جلوگیری از این تأثیر منفی، افزودن گوگرد همراه با ماده

به این وسیله از حمایت‌های مالی معاونت آموزشی و

آلی نظیر کود حیوانی توصیه می‌شود.

پژوهشی دانشگاه مراغه تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع مورد استفاده

- Aliasghar zad N, 2011. Methods in Soil Biology (translated). University of Tabriz Press. 546 pages. (In Persian)
- Ali-Ehiayi M and Behbahani AA, 1993. Description of soil chemical analysis methods. Soil and Water Research Institute. No: 892 Iran. (In Persian)
- Amundson R, 2001. The carbon budget in soils. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 29: 535–562.
- Anonymous, 2013. Intergovernmental panel on climate change (IPCC) 2013: the physical science basis. In: Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Baltrus DA, 2017. Adaptation, specialization, and coevolution within phytobiomes. Current Opinion in Plant Biology 38: 109–116.
- Besharati H, 2014. Investigation the effects of sulfur with *Thiobacillus* species on some elements increasing ability in soil. MSc thesis, Faculty of Agriculture, university of Tehran. 176 pages. (In Persian with English abstract)
- Birgander J, Rousk J and Olsson PA, 2014. Comparison of fertility and seasonal effects on grassland microbial communities. Soil Biology and Biochemistry 76: 80–89.
- Bradford MA, Wieder W and Bonan G, 2016. Managing uncertainty in soil carbon feedbacks to climate change. Nature Climate Change 6: 751–758.
- Cifuentes FR and Lindeman WC, 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. Soil Science Society of American Journal 57(3):727-731.
- Crecchio C, Curci M, Pellegrini A, Ricciuti P, Tursi N and Ruggiero P, 2007. Soil microbial dynamics and genetic diversity in soil under monoculture wheat grown in different long-term management systems. Soil Biology and Biochemistry 39: 1391–1400.
- Garcia-Orenes F, Morugan-Coronado A, Zornoza R and Scow K, 2013. Changes in soil microbial community structure influenced by agricultural management practices in a Mediterranean agro-ecosystem. Plos One 8(11): 1-9.
- Gholami A, Ansouri A, Abbas dokht H and Fallah AR, 2015. Co-inoculation effects of *Thiobacillus thiooxidans* bacteria and mycorrhiza (*Glomus spp.*) on maize nutrition at different levels of sulfur. Journal of Water and Soil 29(3): 718-729. (In Persian with English abstract)
- Gleixner G, 2013. Soil organic matter dynamics: a biological perspective derived from the use of compound-specific isotopes studies. Ecological Research 28: 683–695
- Gupta VSR, Lawrence JR and Germida JJ, 1988. Impact of elemental sulfur fertilization on agricultural soils. Canadian Journal of Soil Science 68: 463-473.
- Janzen HH, 2004. Carbon cycling in earth systems a soil science perspective. Agriculture, Ecosystems & Environment 104: 399–417.
- Kariminia A and Shabanpour M, 2003. Evaluation of sulfur oxidation potential by heterotrophic microorganisms in different soil. Iranian Journal of Soil and Water Sciences 17(1):68-79. (In Persian with English abstract)

- Kaschuk G, Alberton O and Hungria M, 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 1–13.
- Kumar M, Zeyad MT, Choudhary P, Paul S, Chakdar H, Vikram M and Rajawat S, 2020. *Thiobacillus*. Pp: 454-557. In: Amaresan N, Senthil Kumar M, Annapurna K, Kumar K and Sankaranarayanan A (eds). *Beneficial Microbes in Agro-Ecology*, Academic Press.
- Lawrence JR and Germida JJ, 1988. Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal* 52:672-677.
- Malik AA, Puissant J, Buckeridge KM, Goodall T, Jehmlich N, Chowdhury S and Griffiths RI, 2018. Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes. *Nature communications* 9(1), 3591.
- Mirzapour MH, Khavazi K and Naeini MR, 2017. 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 with English abstract)
- Momen A, Pazoki A and Momayezi MR, 2011. Effects of granular sulfur (bentonitic) and compost on quantitative and qualitative characteristics of Bam with in Semnan region. *Crop Physiology* 3(9): 31-46. (In Persian with English abstract)
- Msimbira Levini A and Smith Donald L, 2020. The roles of plant growth promoting microbes in enhancing plant tolerance to acidity and alkalinity stresses. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4: 1-14.
- Neina D, 2019. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*:5794869, 1-9.
- Pathiratna LSS, De UP, Waidyanatha S and Perirs OS, 1989. The effect of apatite and elemental sulfur mixtures on growth and p content of *Centrocema pubescens*. *Fertilizer Research* 21: 37-43.
- Ram A, Kumar D, Babu S, Prasad D and Dev L. 2017. Effect of Sulphur on soil biological properties, residual fertility and yield of aerobic rice grown under aerobic rice-wheat cropping system in inceptisoil. *Journal of Environmental Biology* 38:587-596.
- Rezaei SH, Khavazi K, Nezami MT and Saadat TS, 2013. Effects of sulfur, phosphorus, and plant on soil microbial and phosphatase activity. *Iranian Journal of Soil Research*. 27(2):218-226. (In Persian with English abstract)
- Rousk J, Baath E, Brookes PC, Lauber CL, Lozupone C, Caporaso JG and Fierer N, 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME Journal* 4(10): 1340–1351.
- Rousk J, Brookes PC and Baath E, 2009. Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. *Applied and Environmental Microbiology* 75(6): 1589–1596.
- Souza RA, Teles TS, Machado W, Hungria M, Tavares FJ and Guimaraes MF, 2012. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 155:1-6.
- Souza RF, Brasil EPF, Figueiredo CC and Leandro WM, 2015. Soil microbial biomass and activity in wetlands located in preserved and disturbed environments in the Cerrado biome. *Bioscience Journal* 31(4): 1049-1061.
- Stroo HF and Alexander M, 1985. Role of soil organic matter in the effect of acid rain on nitrogen mineralization. *Soil Science Society of America Journal* 50: 218-223.
- Tabak M, Lisowska A, Filipek-Mazur B and Antonkiewicz J, 2020. The effect of amending soil with waste elemental sulfur on the availability of selected macroelements and heavy metals. *Processes* 8: 1245.



- Yang Z, Stoven KS, Hanekilaus BR and Singh ES, 2010. Elemental sulfur oxidation by *Thiobacillus spp.* and aerobic heterotrophic sulfur-oxidizing bacteria. *Pedosphere* 20 (1): 71-79.
- Zifcakova L, 2020. Factors affecting soil microbial processes. Pp: pp.439-461. In: Datta R, Meena RS, Pathan SI and Ceccherini MT (eds). *Carbon and Nitrogen Cycling in Soil*. Springer Singapore.