

## اصلاح خاک آهکی به وسیله گوگرد به منظور بهبود عملکرد و تغذیه گوجه فرنگی

سامان سیفی<sup>۱</sup> و بابک سوری\*

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۹)

### چکیده

بخش زیادی از خاک مزارع تحت کشت در غرب ایران آهکی بوده و این امر در کاهش فراهمی عناصر غذایی ضروری در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاهان مؤثر است. هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر سطوح مختلف گوگرد بر ویژگی‌های شیمیایی یک خاک آهکی و عملکرد گوجه فرنگی بود. این پژوهش در گلخانه با کاربرد گوگرد در پنج سطح صفر، ۱، ۲، ۳ و ۴ گرم بر کیلوگرم خاک همراه با زادمایه باکتری *Thiobacillus thioparus* در سه تکرار (مجموعاً در ۱۵ گلدان) اجرا شد. دو هفته پس از اضافه کردن گوگرد به خاک گلدان‌ها بذر گوجه فرنگی کاشته شد. پس از پایان دوره رشد ۶۰ روزه، نمونه‌های برگ و همچنین محصول گوجه فرنگی به ترتیب برای سنجش غلظت عناصر غذایی و تعیین عملکرد محصول برداشت شدند. نتایج نشان داد که کاربرد گوگرد به طور معناداری بر pH (۱۹/۹ تا ۲۰/۴ درصد) و رسانایی الکتریکی خاک (EC) (۱۸/۷ تا ۲۱/۵ درصد)، غلظت قابل دسترس فسفر (P) (۱۶/۲ تا ۲۱/۲ درصد)، مس (Cu) (۱۶/۶ تا ۲۲/۸ درصد)، روی (Zn) (۱۶/۸ تا ۲۱/۹ درصد) و آهن (Fe) (۱۸/۲ تا ۲۲/۵ درصد) در خاک، غلظت این عناصر به ترتیب (۱۷/۷ تا ۲۱/۳ درصد)، (۱۸/۶ تا ۲۱/۴ درصد)، (۱۶/۴ تا ۲۲/۹ درصد) و (۲۱/۵ تا ۲۲/۶ درصد) در گیاه و همچنین عملکرد گیاه (ارتفاع بوته) (۱۷/۲ تا ۲۲/۷ درصد) مؤثر بود. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد گوگرد تا میزان سه گرم بر کیلوگرم خاک می‌تواند با بهبود فراهمی عناصر غذایی در خاک، جذب آن‌ها توسط گیاه را افزایش داده و سبب افزایش رشد و عملکرد گوجه فرنگی در شرایط خاک‌های آهکی شود.

واژه‌های کلیدی: تیوباسیلوس، ویژگی‌های خاک، عناصر غذایی، گلخانه، غرب ایران

### مقدمه

تحرك عناصر غذایی موجود در خاک تغییر یافته و این امر بر جذب آن‌ها در اندام‌های گیاهی مؤثر است (۲۷). فراهمی کم عناصر غذایی به ویژه فسفر و عناصر غذایی کم مصرف یکی از مشکلات عمده خاک‌های آهکی است. اگرچه غلظت کل این عناصر غذایی در خاک‌های آهکی زیاد است، اما چالش اصلی این خاک‌ها، فراهمی کم این عناصر غذایی به دلیل کربنات کلسیم و pH زیاد این خاک‌ها است (۱۹ و ۳۳). گوگرد یک

خاک از نظر تأمین عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاهان و تولید غذا نقش حیاتی در جوامع بشری ایفا کرده و بوم-سازگان به آن وابسته است. کمیت و کیفیت گونه‌های گیاهی به مقدار ذخیره عناصر غذایی موجود در خاک بستگی دارد. در واقع با تغییر شرایط خاک (مانند اسیدی یا قلیایی بودن، شوری، مقدار آهک و گچ و همچنین ماده آلی)، فراهمی و

۱- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: bsouri@uok.ac.ir

پژوهشی عبدال-حافظ و ایویس (۱) نقش مؤثر ورمی کمپوست، گوگرد عنصری و اسید آسکوربیک را در گیاهان گوجه فرنگی کشت شده در خاک آهکی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که ورمی کمپوست، گوگرد عنصری و اسید آسکوربیک نه تنها بر وضعیت باروری خاک بلکه بر عملکرد گوجه فرنگی و کیفیت آن نیز تأثیر مثبت داشته است. همچنین، کاربرد همزمان ورمی کمپوست و گوگرد عنصری به دلیل ظرفیت آن در آزادسازی تدریجی مواد مغذی گیاهی، دارای ارزش زراعی مثبت و درازمدت بود. در پژوهشی سوری و صیادی (۴۱) آثار گرانول‌های گوگرد-بتونیت بر بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه ذرت در خاک آهکی را بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که کاربرد این گرانول‌ها آثار مطلوب و معناداری بر بهبود شرایط خاک و محصول تولیدی ذرت دارد گرچه نسبت بتونیت بیش از ۳۰ درصد در گرانول‌ها می‌تواند روند بهبود پارامترهای رشد را در گیاه معکوس کند. همچنین تأیید شد که کارایی گرانول‌های گوگرد-بتونیت بیش‌تر به افزایش جذب عناصر غذایی کم‌مصرف Fe، Mn و Cu در کنار عناصر غذایی پر مصرف گوگرد و فسفر توسط گیاه زراعی کشت شده در خاک آهکی کمک می‌کند.

گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) یکی از محصولات کشاورزی سرشار از ویتامین‌های مورد نیاز برای سلامت انسان از جمله ویتامین‌های A، B، C، تیامین، نیاسین و ریوفلاوین بوده و به دلیل داشتن کالری کم، یکی از مهم‌ترین منابع تغذیه‌ای در رژیم غذایی محسوب می‌شود (۲۶). بنابراین تلاش در راستای کاشت این محصول با کود شیمیایی کمتر و درجه کیفیت زیادتر می‌تواند در بهبود شرایط محیط زیست و همچنین ارتقای سلامت تغذیه جامعه مفید باشد. اثر کاربرد گوگرد بر رشد گیاه گوجه فرنگی که به‌طور گسترده در خاک‌های آهکی غرب ایران کشت می‌شود تاکنون مورد ارزیابی دقیق و کمی قرار نگرفته است. بنابراین هدف پژوهش حاضر ارزیابی کاربرد مقادیر مختلف گوگرد بر جذب عناصر غذایی و عملکرد محصول گیاه گوجه فرنگی کشت شده در یک خاک آهکی این منطقه بود.

عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاه است، زیرا برای سنتز پروتئین‌ها، کلروفیل و ویتامین‌ها مورد نیاز است. کمبود گوگرد بر عملکرد و کیفیت محصول مؤثر است (۴۴). گیاهان می‌توانند گوگرد را از خاک به شکل یون‌های سولفات و از جو به شکل گاز از طریق روزنه‌های برگ‌ها جذب کنند. گوگرد عنصری می‌تواند به‌عنوان کود در کشاورزی استفاده شود. گوگرد به دلیل ظرفیت اکسید شدن و تولید اسید سولفوریک، پتانسیل لازم برای کاهش pH خاک‌های آهکی را حداقل در مقیاس کوچک اطراف ذرات خود دارد. بنابراین می‌تواند به‌ویژه در منطقه ریزوسفر در انحلال عناصر غذایی نامحلول و آزاد شدن عناصر ضروری مؤثر واقع شود (۱۵).

با توجه به سیستیک شیمیایی اندک واکنش تبدیل گوگرد به سولفات، کاربرد گوگرد در خاک، باید همراه با استفاده از زادمایه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد باشد. طیف وسیعی از ریزجانداران قادر به اکسید کردن گوگرد در محیط بوده و موجب اصلاح خاک توسط گوگرد می‌شوند. از بین این ریزجانداران تنها باکتری‌های شیمیواتروف، به‌ویژه جنس تیوباسیلوس نقش مهمی در اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های زراعی ایفا می‌کنند (۴۲). استفاده از زادمایه این باکتری‌ها سبب تسهیل اکسیداسیون گوگرد شده و اثر مثبت گوگرد در خاک‌های آهکی را افزایش داده و بنابراین باعث بهبود کیفیت عملکرد گیاهی می‌شود (۱۲). وقتی گوگرد عنصری به خاک افزوده می‌شود توسط ریزجانداران خاک به سولفات ( $SO_4^{2-}$ ) اکسیده می‌شود. اکسیداسیون گوگرد در بسیاری از موارد به اندازه کافی سریع نیست تا بتواند نیازهای گیاهی را در شرایط کشاورزی تأمین کند (۳). به عبارتی اثربخشی کاربرد گوگرد به‌عنوان کود با میزان اکسیداسیون آن، که در درجه اول یک عملکرد میکروبیولوژیکی است، تنظیم می‌شود. بنابراین، عوامل فیزیکی مانند دما و رطوبت خاک که بر فعالیت میکروبی تأثیر می‌گذارد، نقش مهمی در تنظیم اکسیداسیون گوگرد ایفا می‌کند (۱۸). پژوهش‌های زیادی آثار مثبت گوگرد بر بهره‌وری محصولات کشاورزی را نشان داده‌اند (۱، ۹، ۳۴ و ۴۱). در

## مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش یک نمونه مرکب خاک زراعی از مزرعه کشاورزی با مختصات جغرافیایی "۱۹° ۴۵' ۶۶" طول شرقی و "۱۹° ۵۰' ۳۸" عرض شمالی واقع در غرب ایران (استان کردستان) به کار برده شد. بدین ترتیب که از چهار گوشه مربعی به ضلع ۱۰ متر در مزرعه مذکور و از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری چهار نمونه خاک برداشت شده و پس از یک هفته هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. سپس این چهار نمونه خاک با نسبت کاملاً مساوی با یکدیگر مخلوط و همگن شدند که نمونه مرکب خاک آهکی تهیه شده برای انجام این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

برای تعیین pH و رسانایی الکتریکی خاک، از نسبت ۱:۲ خاک به آب مقطر استفاده شد (۳۵). مقدار کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد (۱۶). به‌منظور اندازه‌گیری کربنات کلسیم از روش تیتراسیون برگشتی و خنثی‌سازی اسید اضافی استفاده شد (۳۵). بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۱) و گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش باور اندازه‌گیری شدند (۵). غلظت فسفر قابل دسترس و نیتروژن کل خاک به ترتیب با استفاده از روش‌های اولسن (۴۶) و کجلدال (۴۶) تعیین شد. برای اندازه‌گیری غلظت قابل دسترس Zn, Cu, Fe و Mn در خاک از روش عصاره‌گیری با دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (DTPA) استفاده شد و غلظت این عناصر در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Atomic Absorption Spectrophotometer: Phoenix-986) قرائت شد (۲۳).

مجموعاً ۱۵ گلدان از جنس پلی‌وینیل کلرید با قطر ۱۴ و ارتفاع ۱۱ سانتی‌متر برای نمونه‌های تیمار شده و شاهد انتخاب شد. سپس گلدان‌ها توسط هیپوکلرید سدیم پنج درصد استریل و با ۱/۴۰ کیلوگرم خاک آهکی اتوکلاو شده (۲۲) و تلقیح شده با باکتری *Thiobacillus thioparus* که به‌صورت اسلنت، از مرکز منطقه‌ای کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های صنعتی ایران (سازمان پژوهش‌های علمی و ایران) خریداری شد پر شدند

(۴۱ و ۴۳). این پژوهش بر اساس طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با کاربرد مقادیر صفر (شاهد)، ۱، ۲، ۳ و ۴ گرم گوگرد عنصری پودری با خلوص ۹۹ درصد بر کیلوگرم خاک و در سه تکرار (مجموعاً ۱۵ گلدان) انجام شد. مقادیر مختلف گوگرد به ضخامت پنج سانتی‌متری فوقانی خاک (۴۱) در گلدان‌ها افزوده شد. پس از گذشت دو هفته ۵ بذر جوانه زده گوجه فرنگی در انکوباتور در عمق نیم سانتی‌متری خاک هر یک از گلدان‌های شاهد و تیمار (هر یک با سه تکرار) کاشته شدند که پس از خروج جوانه‌ها از خاک، چهار گیاهچه ضعیف‌تر از هر گلدان خارج شده و قوی‌ترین گیاهچه (یک گیاهچه) باقی گذاشته شد. در پایان ۶۰ روز دوره رشد، نمونه‌های برگ از گیاهان رشد یافته تهیه و شسته شدند و در آن با دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده تا خشک شوند و به وزن ثابت برسند. هضم نمونه‌های گیاهی به روش خاکستری خشک انجام شد. سپس غلظت فسفر و نیتروژن در نمونه‌های گیاهی به ترتیب به روش اسپکتروفتومتری (۲۱) و کجلدال (۴۴) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت Zn, Cu, Fe و Mn در عصاره نمونه‌های گیاهی از طیف‌سنجی جذب اتمی (Atomic Absorption Spectrophotometer: Phoenix-986) استفاده شد (۱۰). برداشت محصول گوجه فرنگی نیز طی چندین نوبت (بلافاصله پس از تکمیل تغییر رنگ هر گوجه فرنگی به قرمز) انجام شد. پس از برداشت محصول، گیاهان گوجه فرنگی موجود در هر یک از گلدان‌های تیمار و شاهد به همراه ریشه‌های آن‌ها استخراج شدند. سپس خاک هر گلدان نیز کاملاً مخلوط و همگن شد و به‌منظور بررسی تأثیر گوگرد بر ویژگی‌های خاک و وضعیت عناصر غذایی موجود در آن، با استفاده از روش‌های توضیح داده شده در فوق مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش توسط نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. پیش از انجام هر گونه تجزیه آماری ابتدا با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نرمال بودن داده‌ها برای تجزیه و تحلیل آماری آن‌ها از آزمون همبستگی

شدند که در کنار بافت رسی خاک و کربن آلی بسیار کم (۰/۴۶ درصد) نشان‌دهنده آهکی بودن خاک اولیه است (۳۸). همچنین مقادیر غلظت قابل دسترس عناصر غذایی در خاک اولیه کم بود.

### عملکرد گیاه

پارامترهای رشد و نمو هر محصول گیاهی (تعداد، وزن و ارتفاع بوته) نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد اقتصادی آن ایفا می‌کنند (۱). با توجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر ارتفاع بوته به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد قرار گرفت و از ۵۶ سانتی‌متر در سطح شاهد به ۷۷ سانتی‌متر در سطح چهار گرم گوگرد افزایش یافت (جدول ۲). در پژوهش اورمان (۳۰) عملکرد ماده خشک اندام هوایی گیاهان گوجه فرنگی در مقایسه با گیاهان شاهد ۳/۸ درصد در سطح ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گوگرد افزایش یافت. اورمان و کاپلان (۳۲) گزارش کردند که عملکرد ماده خشک اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی با افزایش مقادیر ۸-۶ درصد گوگرد به خاک آهکی افزایش می‌یابد. محدوده‌ای که سانتوس و همکاران (۳۶) برای افزودن گوگرد به خاک برای گیاه گوجه فرنگی تعیین کردند بین ۳ تا ۸ گرم در کیلوگرم بود.

در پژوهش حاضر اثر گوگرد بر میانگین وزن محصول گوجه فرنگی معنی‌دار نبود. با این وجود بیشترین وزن گوجه فرنگی (۲۰۰/۰۳ گرم) در سطح سه گرم گوگرد و کم‌ترین وزن گوجه فرنگی (۸۱/۷۶ گرم) در سطح چهار گرم گوگرد مشاهده شد. کیو و همکاران (۴۹) گزارش دادند که ماده خشک در هر بوته گوجه فرنگی در گیاهان با مقادیر کم گوگرد (کم‌ترین غلظت سولفات ۰/۱ میلی‌مولار در محلول غذایی) به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود. با این حال، هیچ تفاوتی در وزن خشک گیاه در میان سه سطح دیگر (غلظت‌های سولفات ۲/۲، ۸/۸ و ۱۰/۴ میلی‌مولار در محلول غذایی) وجود نداشت. وزن محصول به‌ترتیب با pH (۰/۰۵ < P) و رسانایی الکتریکی خاک (۰/۰۵ < P) همبستگی منفی و مثبت نشان داد. همچنین بین ارتفاع بوته

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی.

Table 1. Physical and chemical properties of the studied soil.

ویژگی	واحد	مقادیر
Property	Unit	values
pH	-	8.03
رسانایی الکتریکی	dS m <sup>-1</sup>	0.433
Electrical conductivity		
گنجایش تبادل کاتیونی	cmol kg <sup>-1</sup>	30.3
Cation exchange capacity		
کربن آلی		0.46
Organic carbon		
کربنات کلسیم		13.1
Calcium carbonate		
نیتروژن	%	0.14
Nitrogen		
رس		47.0
Clay		
سیلت		27.3
Silt		
شن		25.7
Sand		
فسفر قابل دسترس		1.80
Available phosphorus		
Cu		2.07
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	1.13
Fe		7.20
Mn		3.03

پیرسون و آزمون یک فاکتوری بر اساس طرح آزمایشی کاملاً تصادفی استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های خاک اولیه

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۱) آمده است. بر اساس یافته‌های به‌دست آمده مقدار pH بیش‌تر از هشت، رسانایی الکتریکی برابر ۰/۴۳۳ دسی‌زیمنس بر متر و کربنات کلسیم برابر ۱۳/۰۸ درصد تعیین

جدول ۲. مقایسه میانگین غلظت Cu, Zn, Fe و فسفر در بافت برگ و ارتفاع بوته.

**Table 2.** Mean comparisons of Cu, Zn, Fe and phosphorus concentrations in leaf tissue and plant height.

ارتفاع بوته Bush height (cm)	فسفر Phosphorus	Fe	Zn	Cu	
56.000 <sup>b</sup>	0.142 <sup>d</sup>	64.45 <sup>a</sup>	10.77 <sup>c</sup>	16.99 <sup>c</sup>	شاهد Control
57.333 <sup>b</sup>	0.156 <sup>cd</sup>	49.99 <sup>b</sup>	12.23 <sup>bc</sup>	17.77 <sup>bc</sup>	S(1g)
61.333 <sup>b</sup>	0.175 <sup>ab</sup>	52.12 <sup>b</sup>	12.68 <sup>b</sup>	18.18 <sup>bc</sup>	S(2g)
73.333 <sup>a</sup>	0.186 <sup>a</sup>	61.28 <sup>a</sup>	15.00 <sup>a</sup>	19.47 <sup>a</sup>	S(3g)
77.000 <sup>a</sup>	0.167 <sup>bc</sup>	57.52 <sup>ab</sup>	14.85 <sup>a</sup>	18.68 <sup>ab</sup>	S(4g)

حروف متفاوت در هر ستون نمایانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Means in each column followed by different letters are significantly different at the 5% level of probability.

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین غلظت عناصر غذایی و پارامترهای عملکرد محصول در کنار pH و رسانایی الکتریکی خاک.

**Table 3.** Correlation coefficients between nutrient concentrations and crop yield parameters along with soil acidity and electrical conductivity.

رسانایی الکتریکی	pH	ارتفاع بوته	وزن	نیتروژن	فسفر	Mn	Fe	Zn	Cu	
1	-0.638*	0.490	0.610*	0.477	0.697**	0.279	0.775**	0.667**	0.675**	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity
	1	-0.419	-0.554*	-0.642**	-0.805**	-0.092	-0.488	-0.775**	-0.457	pH
		1	0.222	0.3111	-0.314	0.686**	0.799**	0.570*	0.520*	ارتفاع بوته Bush height
			1	0.110	0.463	0.373	0.311	0.276	0.159	وزن Weight
				1	0.799**	0.076	0.575*	0.800**	0.778**	نیتروژن Nitrogen
					1	-0.030	0.554*	0.675**	0.615*	فسفر Phosphorus
						1	0.603*	0.342	0.554	Mn
							1	0.750**	0.862**	Fe
								1	0.799**	Zn
									1	Cu

\*\* همبستگی معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱

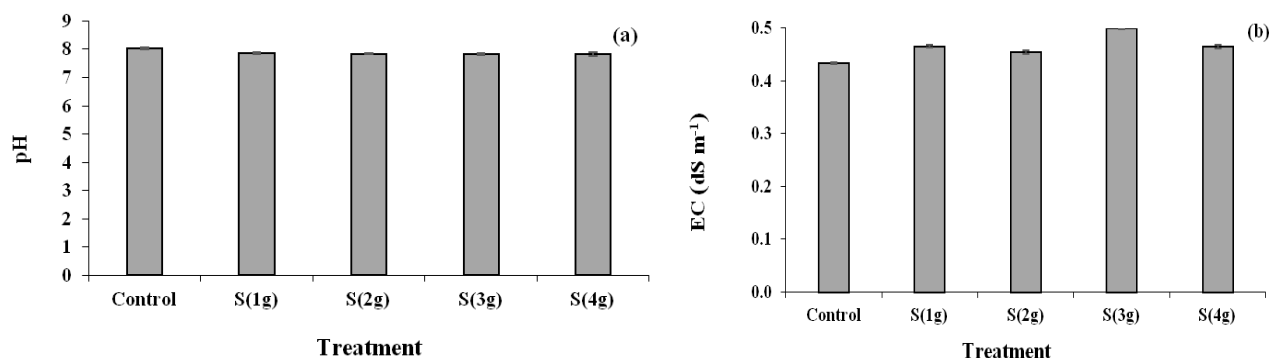
\* همبستگی معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵

\* Correlation significant at the probability level of 0.05

\*\* Correlation significant at the probability level of 0.01

فسفر نسبت به نمونه‌های شاهد نشان داد که، با افزودن گوگرد تا میزان سه گرم بر کیلوگرم خاک به صورت صعودی بوده است. اما با افزودن گوگرد به میزان چهار گرم بر کیلوگرم خاک به صورت نزولی تغییر کرده است (جدول ۲). بر اساس منابع مختلف، غلظت بهینه Cu, Zn و Fe در برگ گوجه فرنگی

با Cu و Zn ( $P < 0/05$ ) و Fe و Mn ( $P < 0/05$ ) همبستگی مثبت و معنی داری مشاهده شد (جدول ۳). این یافته دلالت بر این موضوع دارد که کاربرد گوگرد باعث شده است که گیاهان تیمار شده در مقایسه با گروه شاهد به طور مؤثرتری از ریزمغذی‌ها استفاده کنند. روند تغییرات غلظت Cu, Zn, Fe و



شکل ۱. مقادیر pH (a) و رسانایی الکتریکی (b) برای خاک‌های شاهد و تیمار در پایان دوره رشد.

Fig. 1. pH (a) and electrical conductivity (b) values for control and treated soils at the end of growing season.

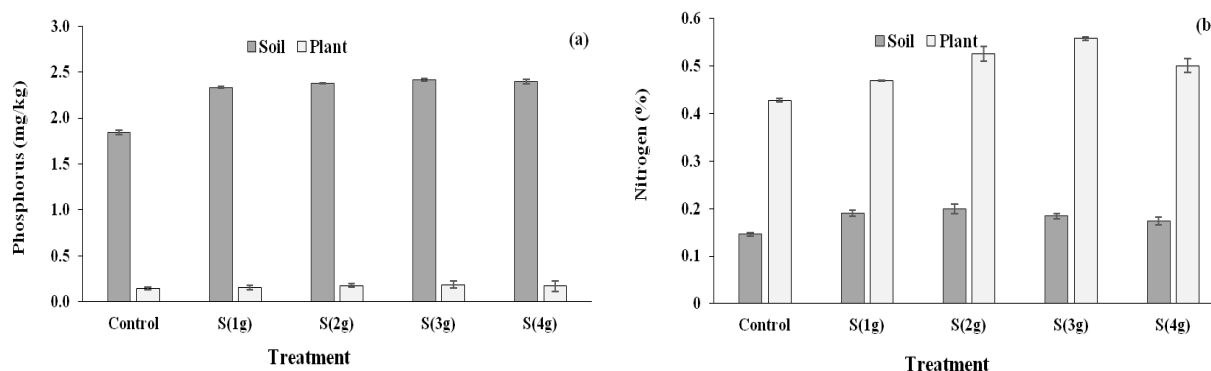
به اسید سولفوریک به‌ویژه در خاک‌های قلیایی برای کاهش pH خاک، تأمین سولفات گیاهان و در دسترس قرار دادن عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک مفید است (۷).

در نتایج اورمان (۳۰)، در اثر کاربرد گوگرد، pH خاک توسط گوگرد کاهش یافت به‌طوری که این آثار به‌ویژه در دوره‌های دوم و سوم نمونه‌برداری خاک با بیش‌ترین سطح گوگرد مشاهده شد. اورمان و کاپلان (۳۱) گزارش دادند که سه هفته پس از استفاده از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گوگرد در خاک آهکی، با توجه به خاک شاهد، ۱۸٪ واحد کاهش در pH خاک حاصل شد. روند تغییرات رسانایی الکتریکی نسبت به نمونه‌های شاهد نشان داد که با افزودن مقادیر مختلف گوگرد روند صعودی داشته است (شکل ۱b). در طی اکسیداسیون گوگرد در خاک، اسید سولفوریک تشکیل شده با کربنات کلسیم خاک آهکی واکنش داده و گچ تولید می‌کند که محلول‌تر از کربنات کلسیم است. از این رو باعث افزایش رسانایی الکتریکی خاک می‌شود (۳۹). بین pH و رسانایی الکتریکی خاک (۰/۰۵)  $P <$  رابطه منفی و معنی‌داری وجود دارد که ضرورتاً یک رابطه خطی نیست زیرا چندین عامل دیگر مانند مواد معدنی و آلی، تخلخل، بافت، رطوبت و دمای خاک بر این رابطه تأثیر می‌گذارند (۴۵). بین رسانایی الکتریکی خاک با Fe, Zn, Cu و فسفر (۰/۰۱)  $P <$  همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). در پژوهش اورمان (۳۱) نیز رسانایی الکتریکی خاک به‌طور قابل توجهی توسط گوگرد افزایش یافت چنان که

به‌ترتیب در دامنه ۲۰-۵، ۸۰-۱۵ و ۹۰-۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۲۸، ۳۷ و ۴۸). با توجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر افزودن گوگرد تا میزان سه گرم بر کیلوگرم خاک می‌تواند با کمک به بهبود فراهمی عناصر غذایی در خاک، جذب آن‌ها توسط گیاه را افزایش داده و سبب افزایش رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط خاک‌های آهکی شود. اگر گوگرد بر عملکرد گیاه و گسترش ریشه تأثیر مثبتی داشته باشد، در درازمدت بر ماده آلی خاک نیز اثر افزایشی خواهد گذاشت. به عبارتی ترکیبات آلی شیمیایی آزاد شده از ماده آلی مانند کلات‌ها عمل کرده و حلالیت عناصر غذایی و فراهمی آن‌ها را برای گیاه افزایش می‌دهد (۲۵ و ۳۱).

### pH و رسانایی الکتریکی

نتایج pH خاک در گلدان‌های تیمارهای کاربرد گوگرد نسبت به تیمار شاهد نشان داد که با افزودن مقادیر گوگرد به‌صورت روند نزولی (۸/۰۳ تا ۷/۸۲ واحد) تغییر کرده است (شکل ۱a). اسلاتون (۳۹) اشاره کرد که اکسیداسیون هر مول گوگرد در خاک دو مول یون هیدروژن تولید می‌کند که می‌تواند با کربنات‌ها در خاک آهکی واکنش داده و آن‌ها را خنثی کند. بین pH خاک با Zn، فسفر و نیتروژن (۰/۰۱)  $P <$  و همچنین وزن خشک گیاه (۰/۰۵)  $P <$  همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). گوگرد در خاک تحت شرایط هوازای از نظر زیستی به اسید سولفوریک اکسیده می‌شود. اکسیداسیون گوگرد



شکل ۲. غلظت فسفر (a) و نیتروژن (b) در خاک و بافت گیاهی برای نمونه‌های شاهد و تیمار شده.

Fig. 2. Concentrations of phosphorus (a) and nitrogen (b) in soil and plant tissue for control and treated samples.

فرنگی را تحت تأثیر قرار نداد. از این رو به نظر می‌رسد که اصلی‌ترین عاملی که باعث افزایش غلظت فسفر در برگ شد کاربرد کود دامی بوده است. منابع موجود شامل تفسیرهای متنوعی از تأثیر گوگرد بر پویایی فسفر موجود در خاک است.

این تفاوت‌ها ناشی از تغییرات pH خاک، رقابت با یون‌های سولفات، معدنی شدن فرم‌های آلی فسفر (۱۷) و همچنین آزادسازی یون‌های Al و Fe است که در اثر واکنش با یون‌های سولفات‌ها به یون‌های فسفات کمتری متصل می‌شوند. علاوه بر این، وجود اسید گوگرد آزاد در خاک‌های غنی از گوگرد شرایط مطلوبی را برای آزادسازی فسفر از ترکیباتی که به سختی محلول هستند ایجاد می‌کند (۱۳). در پژوهش حاضر آثار مقادیر مختلف گوگرد بر غلظت نیتروژن در برگ گوجه فرنگی از نظر آماری معنی‌دار نبود که با یافته‌های اورمان و کاپلان (۳۲) هم‌خوانی دارد. کایربی و مینگل (۲۰) دریافتند که میزان زیاد سولفات در بافت گیاهی با کاهش جذب نیترات و فسفات مرتبط است. اورمان (۲۹) گزارش داد که اگر چه غلظت کل نیتروژن گیاه سورگوم به طور قابل توجهی تحت تأثیر گوگرد در خاک آهکی قرار نگرفت، با این حال غلظت نیتروژن گیاه تیمار کمتر از شاهد (بدون گوگرد) بود.

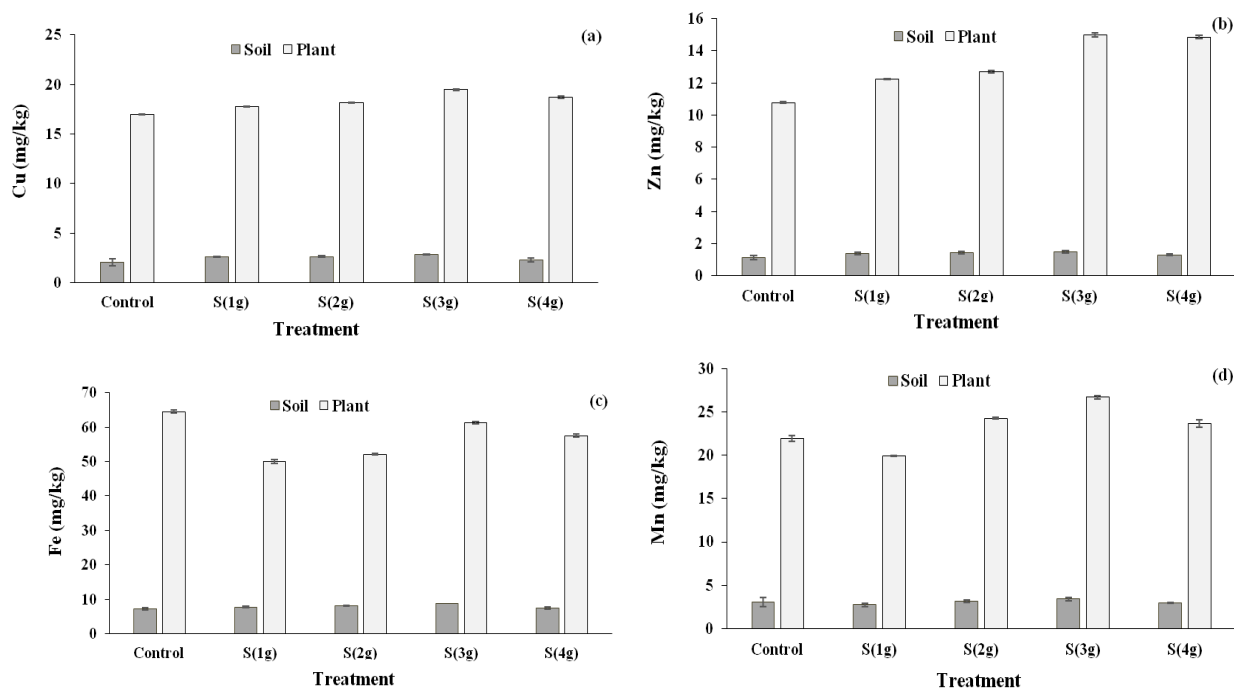
#### عناصر کم‌مصرف

افزودن گوگرد به‌ویژه تا سطح سه گرم بر گیلوگرم خاک منجر به افزایش فراهمی Cu (۱۶/۶ تا ۲۲/۸ درصد)، Zn (۱۶/۸

این اثر به‌ویژه با بیش‌ترین سطح گوگرد در دوره‌های دوم و سوم نمونه‌برداری خاک قابل توجه بود. اورمان و کاپلان (۳۱) همچنین رابطه مثبت و معنی‌داری بین مصرف گوگرد و رسانایی الکتریکی خاک‌های گلخانه‌ای به‌کار رفته برای کشت گوجه فرنگی در منطقه مدیترانه غربی در ترکیه را گزارش کردند.

#### فسفر و نیتروژن

مقایسه گلدان‌های تیمار با نمونه‌های شاهد نشان داد که افزودن گوگرد به خاک غلظت فسفر قابل دسترس خاک (۱۶/۲ تا ۲۱/۲ درصد) و غلظت آن در گیاه (۱۷/۷ تا ۲۱/۳ درصد)، را به‌طور معناداری افزایش داد گرچه این افزایش برای مقادیر نیتروژن معنی‌دار نبود (جدول ۲ و شکل ۲). با این حال افزایش میزان گوگرد به بیش از سه گرم بر کیلوگرم خاک تأثیر معکوس بر جذب فسفر توسط گیاهان داشت. همچنین مقادیر فسفر با Cu و Zn و Fe ( $P < 0/05$ ) و نیتروژن با Cu و Zn ( $P < 0/01$ ) در گیاه روابط مثبت و معنی‌داری نشان دادند (جدول ۳). یافته‌های پژوهش‌های پیشین تأیید می‌کند که اکسیداسیون گوگرد در محیط خاک در حضور باکتری *Thiobacillus* باعث افزایش انحلال فسفر خاک و در دسترس قرار گرفتن بیش‌تر فسفات برای گیاهان زراعی می‌شود (۴ و ۵). در بررسی اورمان (۳۰) غلظت فسفر در برگ گوجه فرنگی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر گوگرد و کود دامی قرار گرفت ضمن آنکه گوگرد به‌تنهایی غلظت فسفر در برگ گوجه



شکل ۳. غلظت قابل دسترس (a) Cu، (b) Zn، (c) Fe و (d) Mn در خاک و غلظت آن‌ها در بافت گیاهی برای نمونه‌های شاهد و تیمار شده. Fig. 3. Available concentrations of Cu (a), Zn (b), Fe (c) and Mn (d) in the soil and their concentrations in plant tissue for control and treated samples.

فیزیکی خاک دره اردن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد که افزودن عنصر گوگرد، pH خاک را کاهش می‌دهد و این باعث بسیاری از واکنش‌های شیمیایی آهک و اکسیدهای موجود در خاک شده و در نهایت منجر به شکل‌گیری فرم‌های محلول بیش‌تری از Fe، Zn، Cu، Mn، Mg، Ca در خاک می‌شود.

در پژوهش انجام گرفته توسط وانگ و همکاران (۴۵) نیز در پی کاربرد ۵۰ تن در هکتار گوگرد، میزان Zn قابل عصاره‌گیری از خاک به تدریج افزایش یافت. بر خلاف خاک‌های اسیدی که فراهمی عناصر کم‌مصرف مانند Fe، Mn، Cu و Zn در آن‌ها زیاد است، در خاک‌های آهکی به دلیل حلالیت کم این عناصر در pH زیاد، فراهمی خیلی کمی دارند (۶). نگاهی به شکل ۳d نشان می‌دهد که بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر روند تغییرات غلظت Mn خاک در نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌های شاهد ابتدا به صورت نزولی بوده و سپس صعودی شده است. از این رو به نظر می‌رسد که کاهش اولیه Mn در اثر

تا ۲۱/۹ درصد) و Fe (۱۸/۲ تا ۲۲/۵ درصد) در خاک و غلظت آن‌ها به ترتیب (۱۷/۷ تا ۲۱/۳ درصد)، (۱۸/۶ تا ۲۱/۴ درصد)، (۱۶/۴ تا ۲۲/۹ درصد) و (۲۱/۵ تا ۲۲/۶ درصد) در گیاه در تیمارهای کاربرد گوگرد نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۳). همانگونه که در جدول (۳) نشان داده شده است، میزان Cu با مقادیر Fe و Zn ( $P < 0/01$ )، میزان Zn با مقادیر Fe و Cu ( $P < 0/01$ ) و همچنین Mn ( $P < 0/05$ ) روابط مثبت و معنی‌داری نشان دادند. چنان‌که انتظار می‌رفت در اثر مصرف گوگرد، pH خاک کاهش یافته (شکل ۱) و فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف افزایش یافت (۲۴). افزون بر این مایه‌زنی خاک با باکتری *thioparus Thiobacillus* منجر به افزایش شدت و همچنین تسریع در اکسیداسیون گوگرد و تشکیل سولفات شده و از این رو افزایش مقادیر قابل جذب عناصر غذایی بررسی شده در پژوهش حاضر قابل توجیه هستند (۳۸). ال-بلاوانا و ابو-عبدون (۲) در پژوهشی تأثیر افزودن پودر گوگرد بر ویژگی‌های شیمیایی و



مایه زنی خاک توسط *Thiobacillus* توانست برخی از صفات کمی محصول گوجه فرنگی شامل: تعداد، وزن و همچنین ارتفاع بوته را نسبت به شاهد بهبود بخشد. با این حال، مشخص شد که کاربرد مقادیر بیش از سه گرم گوگرد بر کیلوگرم خاک آهکی می تواند روند افزایش جذب عناصر غذایی و پارامترهای رشد گوجه فرنگی را معکوس کند. ضمناً افزایش شوری خاک در اثر کاربرد گوگرد، باید مورد توجه قرار گیرد و این اثر باید در مدیریت زمین های کشاورزی به ویژه در زمین های با پتانسیل شوری مورد توجه قرار گیرد. از این رو تکرار پژوهش های مشابه در خاک های آهکی زراعی بیش تری پیشنهاد می شود تا آثار افزودن مقادیر مختلف گوگرد بر ابعاد مختلف ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و آثار آن بر بهبود عملکرد محصول گوجه فرنگی به صورت دقیق تری روشن شود.

مصرف گوگرد به دلیل واکنش های اکسیداسیون و احیا در خاک باشد (۱۴). علاوه بر این واکنش های پیچیده کربنات کلسیم بر توزیع Mn در محیط خاک تأثیر می گذارد (۸).

### نتیجه گیری

از آنجا که بیان کمی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارزیابی کیفیت خاک بسیار اهمیت دارد؛ شناخت دقیق تأثیرپذیری این ویژگی ها از گوگرد افزود شده به خاک اهمیت فراوانی دارد. در پژوهش حاضر افزون بر این واقعیت که کاربرد گوگرد باعث کاهش pH و افزایش رسانایی الکتریکی خاک شد؛ افزودن گوگرد به خاک آثار معنی داری را نیز بر افزایش غلظت Fe, Zn, Cu و فسفر قابل جذب در خاک و همچنین در گیاه کشت شده در آن به دنبال داشت. به عبارتی کاربرد کود گوگرد تا میزان سه گرم بر کیلوگرم در خاک آهکی همراه با

### منابع مورد استفاده

1. Abdel-Hafeez, A.A.A., Ewees, M.S.A., 2018. The effective role of vermicompost, elemental sulphur and ascorbic acid on tomato plants grown on a newly reclaimed calcareous soil at fayoum depression. *Egyptian Journal of Soil Science* 58(2): 255–273.
2. Al-Balawna, Z.A., Abu-Abdoun, I.I., 2019. The effect of sulfur powder addition on the chemical and physical properties of soil in Jordan valley. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 8(2): 42–48.
3. Anonymous, 1982. The fourth major nutrient. The Sulphur Institute, Washington D.C, 32 p.
4. Bouranis, D.L., Gasparatos, D., Zechmann, B., Bouranis, L.D., Chorionopoulou, S.N., 2019. The effect of granular commercial fertilizers containing elemental sulfur on wheat yield under Mediterranean conditions. *Plants* 8(2): 1–15.
5. Bower, C.A., Reitemeier, P.F., Fireman, M., 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Journal of Soil Science* 73 (4): 251–61.
6. Brady N.C., Weil R.R., 1999. The Nature and Properties of Soils. 12<sup>th</sup> Edition, Prentice Hall Inc, New Jersey.
7. Burns, G.R., 1967. Oxidation of Sulfur in Soils. Tech. Bull. 13. The Sulphur Institute, Washington, D.C.
8. Cifuentes, F.R., Lindemann, W.C., 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. *Soil Science Society of America Journal* 57(3): 727–731.
9. Crusciol, C.A.C., Soratto, R.P., Silva, L.M., Lemos, L.B., 2006. Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. *Bragantia* 65(3): 459–465.
10. Cui, Y., Dong, Y., Li, H., Wang, Q., 2004. Effect of elemental sulphur on solubility of soil heavy metals and their uptake by maize. *Environment International* 30(3): 323–328.
11. Day, P.R., 1965. Particle fractions and particle-size analysis. In: Black, C.A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical Methods*. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 545–566.
12. Deluca, T.H., Skogley, E.O., Engle R.E., 1989. Band-applied elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorus in alkaline calcareous soils. *Biology and Fertility of Soils* 7: 346–350.
13. Gađor J., Motowicka-Terelak T., 1986. Effect of contamination with sulphur on soil properties and crop yields in alysimetric experiment II. Effect of elemental sulphur application to the soil on the yields and chemical composition of some crops. *Pam Pul Journal* 88: 25–37.
14. Garcia de la Faente, R., Carrion, C., Botella, S., Fornes, F., Noguera, V., Abad, M., 2007. Biological oxidation of element sulfur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes. *Bioresource Technology* 98(18): 3561–3569.

15. Heydarnezhad, F., Shahinrokhsar, P., Vahed, H.S., Besharati, H., 2012. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4(12): 735–739.
16. Hopkins, D.W., 2008. Carbon mineralization. In: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. 2<sup>nd</sup> edition, Taylor and Francis, London, UK, pp. 589–598.
17. Jaggi, R.C., Aulakh M.S., Sharma R., 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. *Biology and Fertility of Soils* 41: 52–58.
18. Janzen, H.H., Bettany, J.R., 1987. The effect of temperature and water potential on sulphur oxidation in soils. *Soil Science* 144: 81–89.
19. Karimi, A., Moezzi, A., Chorom, M., Enayatizamir, N., 2020. Application of biochar changed the status of nutrients and biological activity in a calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20(2): 450–459.
20. Kirkby, E.A., Mengel, K., 1967. Ionic balance in different tissues of tomato plant in relation to nitrate, urea and ammonium Nutrition. *Plant Physiology* 42: 6–14.
21. Kowalenko, C.G., Laerhoven, C.J.V., 1988. Total sulfur determination in plant tissue. In: Karla, Y.P. (Ed.), *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. Soil and Plant Analysis Council, Washington, US, pp. 93–102.
22. Lees, K., Fitzsimons, M., Snape, J., Tappin, A., Comber, S., 2018. Soil sterilisation methods for use in OECD 106: How effective are they? *Chemosphere* 209: 61–67.
23. Lindsay, W.L., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal* 42(3): 421–428.
24. Lopez Agurra J.G., Farias Larous J., Guzman Gonzales, S., 1999. Effect of Sulphur application on chemical properties and microbial populations in a tropical alkaline soil. *Pedobiology* 43(2): 183–191.
25. McCauley, A., Jones, C., Jacobsen, J., 2009. Soil pH and organic matter. *Nutrient Management Modules* 8: 1–12.
26. McDonald, M.B., Copeland, L.O., 1997. *Seed Production: Principles and Practices*. Chapman and Hall, New York, 249 p.
27. Navidshad, A., Jafari sayad, M., 2000. *Animal Feed*. Navidi Publisher, 558 p.
28. Nonnecke, I.N., 1989. *Vegetable Production*. Van Nostrand Reinhold, NewYork.
29. Orman, S., 1996. Possibilities of the use of the floatation wastes from keçiborlu sulphur factory and elemental sulphur in the alkaline agricultural soils, Post Graduate Thesis, Akdeniz University, Institute of Science, 87 p.
30. Orman, S., 2012. Effects of elemental sulphur and farmyard manure applications to calcareous saline clay loam soil on growth and some nutrient concentrations of tomato plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10 (2): 720–725.
31. Orman, S., Kaplan, M., 2009. Determination of sulphur contents in tomato grown in greenhouses in West Mediterranean Region, Turkey. *Asian Journal of Chemistry* 21(1): 484–498.
32. Orman, S., Kaplan, M., 2011. Effects of elemental sulphur and farmyard manure on pH and salinity of calcareous sandy loam soil and some nutrient elements in tomato plant. *Journal of Agricultural Science and Technology* 5(1): 21–26.
33. Rengel, Z., 2015. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15(2): 397–409.
34. Rheinheimer, D.S., Alvarez, J.W.R., Osorio Filho, B.D., Silva, L.S., Bortoluzzi, E.C., 2005. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. *Ciência Rural* 35(3): 562–569.
35. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Handbook No. 60, United States Department of Agriculture.
36. Santos, B.M., Esmel, C.E., Rechcigl, J.E., Moratinos, H., 2007. effects of sulfur fertilization on tomato production. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 120(1): 189–190.
37. Sainju, U.M., Ramdane Dris, R., Bharat Singh, B., 2003. Mineral nutrition of tomato. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 1: 176–183.
38. Siami, A., Besharti, H., Golchin, A., 2007. Investigation of sulfur oxidation process and its relationship with the release of iron and zinc in calcareous soils. *Proceedings of the 10<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress, Karaj*. (Translated in Persian).
39. Slaton, N.A., 1998. *The Influence of Elemental Sulfur Amendments on Soil Chemical Properties and Rice Growth*. PhD Thesis, University of Arkansas, US.
40. Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy*. 2<sup>nd</sup> edition, Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture Handbook.
41. Souri, B., Sayadi, Z., 2021. Efficiency of sulfur-bentonite granules to improve uptake of nutrient elements by the crop plant cultivated in calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 52(20): 2414–2430.
42. Tate, R.L., 2021a. *Soil Microbiology*. Third edition, John Wiley & Sons, NJ.
43. Tate, R.L., 2021b. Fundamentals of the sulfur phosphorus and mineral cycles. In: Tate, R.L. (Ed.), *Soil Microbiology*. Third edition, John Wiley & Sons, NJ, pp. 477–510.
44. Tiwari, R.C., 1995. Soil sulphur status and crop responses to sulphur application in Eastern Uttar Pradesh, India.

*Sulphur in Agriculture* 19: 21–25.

45. United State Department of Agriculture (USDA), 2011. Soil Quality Indicator: Soil Electrical Conductivity; Natural Resources Conservation Services. US.

46. Van Reeuwijk, L.P., 1993. Procedures for Soil Analysis. International Soil Reference and Information Centre, The Netherlands.

47. Wang, Y.P., Li, Q.B., Huia, W., Shia, J.Y., Lina, Q., Chena, X.C., Chena, Y.X., 2008. Effect of sulfur on soil Cu/Zn availability and microbial community composition. *Journal of Hazardous Materials* 159: 385–389.

48. Winsor, G.W., 1973. The U.K. Tomato Manual. Grower Books, London, 223 p.

49. Xu, H.L., López, J., Rachidi, F., Tremblay, N., Gauthier, L., Desjardins, Y., Gosselin, A., 1996. Effect of sulphate on photosynthesis in greenhouse-grown tomato plants. *Physiologia Plantarum* 96: 722–726.

50. Ye, R., Wright, A.L., Orem, W.H., McCray, J.M., 2010. Sulfur distribution and transformations in Everglades Agricultural Area soil as influenced by sulfur amendment. *Soil Science* 175(6): 263–269.



## Modification of Calcareous Soil with Sulfur to Improve Tomato Yield and Nutrition

S. Seifi<sup>1</sup> and B. Souri<sup>1\*</sup>

(Received: 14 October 2021; Accepted: 10 November 2021)

### Abstract

A large part of the cultivated soils in western Iran is calcareous. This is effective in reducing the availability of essential nutrients in the soil and their uptake by plants. This study's aim was to investigate the effect of different levels of sulfur on chemical properties of a calcareous soil and tomato yield. The experiment was carried out in a greenhouse using sulfur at five levels of 0, 1, 2, 3, and 4 g/kg soil with the bacterium *Thiobacillus thioparus* with three replications (15 pots in total). Tomato seeds were sown two weeks after adding sulfur to the potting soil. At the end of the 60-day growth period, leaf samples and tomato crops were harvested to measure nutrient concentrations and determine the yield, respectively. The results showed that the application of sulfur significantly affected soil pH (19.9 to 20.4%), electrical conductivity (18.7 to 21.5%), and the availability of P (16.2 to 21.2%), Cu (16.6 to 22.8%), Zn (16.8 to 21.9%) and Fe (18.2 to 22.5%) in the soil. The concentrations of these elements were also affected in the plant tissue due to soil sulfur application in the range of 17.7 to 21.3% for P, 18.6 to 21.4% for Cu, 16.4 to 22.9% for Zn and 21.5 to 22.6% for Fe, respectively. Plant height was influenced similarly with an increase from 17.2 to 22.7%. In general, the results of this study showed that applying sulfur up to three grams per kilogram of calcareous soil could increase the uptake of nutrient elements by the plants through improving their availability which in turn resulted in the growth and yield increase of tomato.

**Keywords:** *Thiobacillus*, Soil properties, Nutrient elements, Greenhouse, Western Iran.

**Background and Objective:** Calcareous soils are dominant among the farmlands across western Iran, influencing the essential nutrients' uptake by the cultivated plants. Soil sulfur application may alleviate the problem to some extent (1, 2 and 3). This is not addressed precisely for tomato which is widely grown in these soils. The purpose of this study was to evaluate the effect of application of different amounts of sulfur on nutrient uptake and yield of tomato plant cultivated in a calcareous soil in western Iran.

**Methods:** A calcareous soil from a farmland in western Iran was sampled to plant tomato crops in the pots under greenhouse conditions. To determine the pH and electrical conductivity of the soil, a saturated extract with a ratio of 1:2 soil to distilled water was applied. Soil organic matter was determined by titration after acid digestion. To measure calcium carbonate, acid neutralization method was used. Hydrometric method was followed to assess soil texture and measure the percentages of clay, silt, and sand particles. Extraction by diethylene triamine penta acetic acid (DTPA) was used to measure the concentrations of Cu, Zn, Fe

1- Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

\* Corresponding Author, Email: bsouri@uok.ac.ir

and Mn in soil. Soil phosphorus and nitrogen were measured through Olsen and Kjeldahl methods, respectively. Pots made of polyvinyl chloride with a diameter of 14 and height of 11 cm were applied to cultivate the plants for the treated and control samples. Sulfur was added to the top 5 cm of soil in the pots in the rates of 0, 1, 2, 3, and 4 g/kg. At the end of the 60-days growth period, the tomato plants of each of the treated and control pots and their roots were harvested. Tomatoes produced were weighed and the plant heights were measured. Also, leaf samples of the grown plants were washed, then oven-dried at 65 °C until they reached the constant weight. Dry ash method was used to measure the concentrations of Cu, Zn, Fe, and Mn using atomic absorption spectroscopy. Plant phosphorus, and nitrogen contents were measured using spectrophotometry and Kjeldahl methods, respectively. Finally, the soil of each pot was excavated, thoroughly mixed, homogenized, and then analysed for the nutrients through the methods mentioned above.

**Results:** Results indicated that plant height, Zn, Cu, Fe and phosphorous concentrations were significantly improved following the soil amendment using sulfur fertilizer. Tomato yields showed a negative and positive correlation to pH ( $P < 0.05$ ) and electrical conductivity ( $P < 0.05$ ) of the soil, respectively. Also, a positive and significant correlation was observed between plant height with Cu, Zn, Fe and Mn concentrations. The pH of the soil in the treated pots compared to the control samples showed a downward trend with sulfur increase. There were significant negative correlations between soil pH with Zn, phosphorus and nitrogen in the plant tissue ( $P < 0.01$ ) as well as with tomato yield ( $P < 0.05$ ). Compared to the control, adding sulfur to the soil increased the amount of nitrogen and phosphorus in both soil and plants. Relationships of concentration of phosphorus to those of Cu and Fe ( $P < 0.05$ ) and Zn ( $P < 0.01$ ) were positively significant in the plant's tissue. Also, relationships of nitrogen to Cu and Zn ( $P < 0.01$ ) and Fe ( $P < 0.05$ ) in the plant's tissue were found to be positive and significant. However, it was confirmed that sulfur application more than 3 g/kg soil may reverse the improving effect of Cu, Zn, Fe and phosphorous uptake by the plants cultivated.

**Conclusions:** The use of sulfur for amendment of the calcareous soil reduced the pH and increased the electrical conductivity of the soil and also showed significant positive effects on the concentration of available Cu, Zn, Fe, and phosphorus in the soil. It also improved the concentrations of Cu, Zn, Fe, and phosphorous in the plant tissues. In other words, applying a carefully optimized amount of sulfur fertilizer to calcareous soils and inoculation by *Thiobacillus thioparus* may quantitatively improve traits of tomato crop.

#### References:

1. Al-Balawna, Z.A., Abu-Abdoun, I.I., 2019. The effect of sulfur powder addition on the chemical and physical properties of soil in Jordan valley. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 8(2): 42–48.
2. Orman, S., 2012. Effects of elemental sulphur and farmyard manure applications to calcareous saline clay loam soil on growth and some nutrient concentrations of tomato plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10(2): 720–725.
3. Souri, B., Sayadi, Z., 2021. Efficiency of sulfur-bentonite granules to improve uptake of nutrient elements by the crop plant cultivated in calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 52(20): 2414–2430.