اثر کاربرد گوگرد بر شاخص‌های رشد نهال نارنج و برخی ویژگی‌های یک خاک غیرآهکی

طاهره رئیسی[1] و احسان کهنه

استادیار پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر؛ **taraiesi@gmail.com**

استادیارپژوهشکده چای،مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر؛ **e.kahneh@areeo.ac.ir**

ص **389 - 403**

دریافت: **1401/8/28** و پذیرش: **1401/12/22**

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر کاربرد گوگرد با و بدون کود گاوی بر شاخص‌های رشد نهال جوان نارنج و نیز شاخص‌های کیفی یک خاک غیرآهکی (pH=6/8) اجرا شد. بدین منظور هشت تیمار مختلف شامل کاربرد گوگرد به تنهایی و یا به‌صورت توأم با کود گاوی با هدف تأمین 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک درنظرگرفته شد. هشت ماه پس از کاشت نهال‌ها، گیاهان برداشت شد و وزن شاخسار و نیز غلظت عناصر غذایی در برگ نهال اندازه‌گیری شد. هم¬چنین در پایان آزمایش، برخی ویژگی¬های زیستی و شیمیایی معرف کیفیت خاک در نمونه خاک¬های پیرامون ریشه نهال نارنج تعیین گردید. بررسی نتایج نشان داد که اثرات ترکیبی گوگرد و کود گاوی بر شاخص¬های رشد نهال نارنج و نیز شاخص¬های کیفیت خاک بیشتر از اثرات هریک از این اصلاح¬کننده های خاک به تنهایی بود. هم¬چنین، کاربرد 10 گرم گوگرد دارای اثرات مثبتی بر وزن شاخساره نارنج و نیز غلظت فسفر، کلسیم، آهن و روی در برگ نارنج بود و این اثرات مثبت در شرایط کاربرد کود گاوی ارتقا بخشیده شد. هم¬چنین با افزایش سطح کاربرد گوگرد، پهاش خاک کاهش یافت و این کاهش در شرایط کاربرد توأم گوگرد و کود گاوی بیشتر بود. هم-چنین نتایج نشان داد که مقدار قابل استفاده فسفر، پتاسیم، کلسیم، سولفات، روی و آهن در خاک متاثر از سطح کاربرد گوگرد بود. علاوه براین، با کاربرد 10 گرم گوگرد مقدار هدایت‌الکتریکی خاک افزایش یافت هرچند افزایش سطح کاربرد گوگرد منجر به افزایش بیشتر این ویژگی نشد. هم¬چنین، بیشترین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی در شرایط کاربرد 10 گرم گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی به دست آمد. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد مقادیر بیشتر از 20 گرم گوگرد بر رشد شاخسار نارنج و نیز فعالیت¬های زیستی اندازه‌گیری شده در خاک مورد مطالعه اثر ممانعت¬کننده ای داشت.

واژه‌های کلیدی: کود گاوی، فعالیت‌های زیستی، عناصر غذایی در برگ، شاخص‌های کیفیت خاک، آنزیم‌های فسفاتاز.

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری، رامسر، ایران.

مقدمه

گوگرد یکی از مهمترین عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد بهینه و عملکردهای سوخت و سازی در گیاهان است، نیاز بسیاری از گیاهان از قبیل مرکبات به گوگرد مشابه فسفر می¬باشد (ذکری و همکاران، 2013). کشت متراکم، استفاده از کودهای فاقد گوگرد و کاهش تهنشت¬های اتمسفری دلایل اصلی رخداد کمبود گوگرد در خاک¬های کشاورزی می¬باشد (دیویتو و همکاران، 2015). بنابراین استفاده از کودهای گوگردی در بسیاری از مناطق دنیا برای تولید بهینه محصولات باغی از جمله مرکبات رو به افزایش است (موروحی، 2012؛ ال-واکیل و منصور، 2014؛ مجیدی، 1395). نتایج اثر کاربرد گوگرد بر عملکرد و مقدار عناصر غذایی در برگ پرتقال والنسیا در جنوب آفریقا (موروحی، 2012). نشان داد که با افزایش مقدار کود گوگردی، پ-اچ کاهش و مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت. علاوه بر این، با افزایش مقدار کاربرد گوگرد، غلظت این عنصر، روی و مس در برگ افزایش اما غلظت نیتروژن، منگنز و آهن کاهش یافتند.

در تحقیقی دیگر، اثر کاربرد گوگرد به تنهایی یا به‌صورت توأم با خاکستر چوب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و نیز بر شاخص‌های رشد، غلظت عناصر غذایی در برگ درختان جوان پرتقال بررسی شد (ال-واکیل و منصور، 2014). نتایج نشان داد با افزودن گوگرد به خاک، مقدار پ-اچ خاک کاهش یافت این درحالی بود که با افزایش سطح کاربرد خاکستر چوب در خاک، پ-اچ خاک افزایش نشان داد. کاربرد گوگرد تأثیری بر مقدار نیتروژن و عناصر ریزمغذی در برگ نداشت درحالی‌که مقدار فسفر و پتاسیم در برگ افزایش یافت. کاربرد گوگرد مانند بسیاری از دیگر عناصر غذایی ضمن حفظ و یا بهبود عملکرد گیاهان، به¬طور مستقیم و یا غیرمستقیم منجر به ایجاد تغییراتی در ویژگی¬های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نیز می¬شود. کاربرد گوگرد در خاک عمدتاً از طریق تاثیر بر پ-اچ خاک، می¬تواند بر قابلیت جذب سایر عناصر غذایی (ال-واکیل و منصور، 2014) و نیز بر فعالیت¬های زیستی خاک (رضایی و همکاران، 1382) تأثیرگذار باشد. به هرحال، هنوز عدم قطعیت در مورد تأثیر کود گوگردی بر کیفیت و ظرفیت تولید خاک وجود داشته و برخی اطلاعات موجود در این زمینه متناقض می‌باشند (گوپتا و همکاران، 1988؛ مالیک و همکاران، 2021). بنابراین لازم است که اثرات کاربرد این عنصر بر شاخص¬های کیفیت خاک نیز در خاک¬های مختلف مورد بررسی و توجه قرار گیرد.

گوگرد از طریق تأثیر بر پ-اچ خاک می¬تواند شاخص¬های مرتبط با کیفیت خاک را به طور مستقیم و یا به طور غیر مستقیم تحت¬تأثیر قرار دهد (آکوستا و همکاران، 2000؛ هاشمی‌نژاد و همکاران، 2012؛ رضاپور، 2014؛ ماسودا و همکاران، 2016؛ مالیک و همکاران، 2021).

به هر حال بررسی منابع نشان می‌دهد بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی کاربرد گوگرد عنصری و پیامدهای ناشی از این کاربرد به‌ویژه در داخل کشور در خاک¬های آهکی انجام شده و در بیشتر این تحقیقات تمرکز بر اثر کاربرد گوگرد بر شاخص¬های رشد گیاه بوده است. اما با توجه به نقش اساسی گوگرد در کمیت و کیفیت محصول، امروزه استفاده از این عنصر در باغ¬های مرکبات کشور نیز رو به رشد است. خاک بسیاری از باغ¬های مرکبات در شمال کشور دارای پ-اچ خنثی تا اسیدی می¬باشند و با توجه به گرایش رو به رشد باغداران به استفاده از این عنصر در باغ¬های خود، و نیز با توجه به این امر که توصیه کودی دقیقی در زمینه کاربرد گوگرد در خاک¬های غیرآهکی در داخل کشور وجود ندارد لازم است که اثرات کاربرد مقادیر مختلف گوگرد بر پارامترهای رشد مرکبات و نیز بر شاخص‌های کیفی خاک غیرآهکی نیز بررسی شود. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر کاربرد کود گوگرد و کود گاوی بر پارامترهای مرتبط با رشد نهال جوان نارنج و نیز بر

شاخص‌های کیفی یک خاک غیر آهکی در پژوهشکده مرکبات و میوه¬های نیمه¬گرمسیری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش نمونه خاک از پژوهشکده مرکبات و میوه¬های نیمه¬گرمسیری واقع در شهر رامسر از عمق صفر تا 30 سانتیمتری جمع¬آوری شد. لازم به ذکر است پس از هوا خشک کردن، در ابتدا خاک مورد مطالعه با ماسه رودخانه¬ای با نسبت 2 به 1 مخلوط شد و سپس، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از جمله پ-اچ در سوسپانسیون 2 به 1 محلول به خاک (توماس، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های صاف شده با نسبت 2 به 1 محلول به خاک (روادز، 1996)، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (نلسون و سامرز، 1996)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم یک مولار (چپمن، 1965)، بافت خاک به روش هیدرومتر (جی و بادر، 1986)، فسفر قابل استفاده با عصاره گیری بی‌کربنات سدیم نیم مولار (اولسن و سامرز، 1982) و سولفات قابل استخراج توسط کلرید کلسیم 0/01 مولار (ویلیامز و استنبرگ، 1959) و به روش رنگ¬سنجی تعیین شدند. پتاسیم قابل استفاده نیز با عصاره‌گیری استات آمونیوم نرمال (هلمکی و اسپارکس، 1996) و قرائت توسط فلیم فتومتر اندازه گیری شد (جدول 1).

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

پ-اچ	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	سولفات قابل استفاده	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده
-	درصد		گرم بر کیلوگرم		میلی‌گرم بر کیلوگرم		
6/8	22	13	<1	10/7	7/3	19	172

هم‌چنین، برای انجام این پژوهش از کود گاوی استفاده شد. برخی از ویژگی‌های کود گاوی مورد استفاده ازجمله پ-اچ، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، سولفات قابل استفاده مطابق روش¬های ذکر شده در بالا و هم‌چنین، مقدار نیتروژن کل به روش کجلدال (برمنر، 1996)، اندازه¬گیری شدند (جدول 2).

جدول 2- برخی از ویژگی‌های شیمیایی کود گاوی مورد استفاده در این تحقیق

هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	پتاسیم قابل استفاده	فسفر قابل استفاده	سولفات قابل استفاده
دسی‌زیمنس بر متر	گرم بر صدگرم کود				
16/9	45	2/6	5/68	0/45	0/27

آزمایش گلخانه¬ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار (جدول 3) در شش تکرار در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری-رامسر با استفاده از نهال جوان نارنج انجام شد. تیمارها با افزودن گوگرد معدن زرکوه (حاوی 20 درصد گوگرد) به تنهایی و یا به‌صورت توأم با کود گاوی در چهار سطح با هدف تأمین 0، 10، 20 و 30 گرم گوگرد بر کیلوگرم خاک آماده شدند.

جدول 3- تیمارهای مورد آزمایش در تحقیق حاضر

تیمار	توضیح
S0	شاهد (فاقد گوگرد و کود گاوی)
S10	کاربرد 10 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک
S20	کاربرد 20 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک
S30	کاربرد 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک
M	کاربرد 50 گرم کود گاوی در هر کیلوگرم خاک
S10M	کود گاوی+ 10 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک
S20M	کود گاوی + 20 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک
S30M	کود گاوی + 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک

در ابتدا بذر نارنج (*Citrus aurantium* L.) پس از ضدعفونی با محلول سه در هزار کاپتان به مدت 10 دقیقه در گلدان‌های پلاستیکی با بستر کوکوپیت و پرلایت اتوکلاو شده با نسبت 2 به 1 کشت شدند. سپس به صورت روزانه تا زمان جوانه زدن با آب مقطر آبیاری شدند. پس از اطمینان از استقرار نهال‌های بذری، هر دو هفته یک‌بار محلول هوگلند اصلاح شده (ژو و همکاران، 2014) به صورت کودآبیاری به گلدان‌ها اضافه شد. در اردیبهشت سال 1399 گلدان‌ها با ده کیلوگرم مخلوط خاک مورد آزمایش (جدول 3) پر شدند. در ادامه نهال‌های یک‌ساله نارنج با قطر و ارتفاع یکسان در خاک گلدان‌های آماده شده کشت شدند.

گیاهان پس از طی یک دوره رشد به مدت هشت ماه برداشت شدند. در ادامه، برگ¬های آون خشک شده با استفاده از آسیاب برقی پودر شدند. سپس، برگ‌های پودر شده به روش خاکستر خشک هضم (کالرا، 1997) و مقدار فسفر به روش رنگ-سنجی با استفاده از اسپکتروفتومتر، پتاسیم به روش شعله‌سنجی با دستگاه فلیم‌فتومتر، کلسیم، آهن و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی موجود در نمونه‌های هضم شده اندازه‌گیری شد.

علاوه‌براین، در پایان فصل پس از برداشت نهال¬ها، خاک اطراف ریشه جداسازی شد (رئیسی و مرادی، 2021). مقداری از خاک‌های پیرامون ریشه نارنج در یخچال در دمای 4 درجه سلسیوس به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی با استفاده از هیدرولیز پ-نیترو فنیل فسفات در pH برابر یازده (آلکالاین فسفاتاز) (طباطبایی و برمنر، 1969) و فسفاتاز اسیدی نیز با استفاده از هیدرولیز پ-نیترو فنیل فسفات در pH برابر شش (عیوضی و طباطبایی، 1977) ذخیره شد. هم‌چنین، مقداری از خاک اطراف ریشه نیز جهت اندازه گیری شکل قابل استفاده عناصر غذایی در خاک هوا خشک شد. فسفر، پتاسیم و سولفات قابل استفاده به روش‌های ذکر شده در قسمت قبل در خاک اندازه‌گیری شدند. هم‌چنین کلسیم قابل استفاده با استفاده از استات آمونیوم یک مولار استخراج (دال و لوکاس، 1973) و اندازه‌گیری شد. مقدار روی و آهن قابل استفاده خاک‌های مورد مطالعه به روش لیندزی و نورول (1978) استخراج و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد.

اثر کاربرد گوگرد به تنهایی یا به‌صورت توأم با کود گاوی بر ویژگی¬های اندازه¬گیری شده توسط تجزیه واریانس یک طرفه بررسی و معنی¬دار بودن تفاوت¬ها توسط آزمون دانکن و در سطح احتمال 5 درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9/4 انجام شد. لازم به ذکر است که در این آزمایش از شش تکرار برای اندازه‌گیری شاخص‌های رشد نارنج، و برای اندازه‌گیری‌های ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک از سه تکرار استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص¬های رشد نهال نارنج

اثرات تیمارها بر وزن شاخسار نهال نارنج و نیز بر غلظت عناصر غذایی در برگ نارنج در جدول 4 آورده شده است.

وزن شاخسار: دامنه وزن شاخسار نهال¬های نارنج از 132 گرم تا 194 گرم در هر گلدان متغیر بود (جدول 4). بیشترین وزن شاخسار در شرایط کاربرد 10 گرم گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی (کاربرد گوگرد به مقدار 20 درصد وزنی کود گاوی) مشاهده شد که تفاوت معنی¬داری با کاربرد 20 گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی نداشت. کمترین مقدار وزن شاخسار در شرایط کاربرد 20 و 30 گرم گوگرد به تنهایی مشاهده شد که اختلاف معنی¬داری با شاهد نداشتند. به طور کلی، بررسی نتایج نشان داد با کاربرد 10 و 20 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک به‌صورت توأم با کود گاوی وزن شاخساره افزایش یافت اما با کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد (30 گرم) وزن شاخساره کاهش و این مقدار گوگرد اثر ممانعت کننده بر رشد نهال¬های جوان نارنج داشت. بنابراین به لحاظ رشد شاخساره نارنج، مقدار 10 گرم گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی (کاربرد گوگرد به مقدار 20 درصد وزنی کود گاوی) بیشترین تأثیر را بر وزن شاخساره این گیاه داشته است. در همه سطوح گوگرد مورد مطالعه، کاربرد کود گاوی اثرات مثبت بر وزن شاخسار نارنج داشته است. تأثیر مثبت کاربرد گوگرد بر شاخص-های رشد مرکبات در دیگر پژوهش¬ها نیز گزارش شده است (ال-واکیل و منصور، 2014؛ موروحی، 2012).

جدول 4- اثرات کاربرد گوگرد و کود گاوی بر وزن شاخساره و غلظت برخی عناصر در نهال نارنج

تیمار	وزن شاخسار	فسفر	پتاسیم	کلسیم	آهن	روی
	گرم بر گلدان	درصد	درصد	درصد	میلی‌گرم بر کیلوگرم	
S0	132 c	0/17 bcd	0/96 b	3/01 c	115 d	28 c
S10	165 b	0/18 abc	1/04 b	3/76 ab	172 b	33 ab
S20	145 c	0/16 de	1/15 a	3/66 ab	164 bc	33 ab
S30	132 c	0/15 e	0/99 b	3/44 bc	139 cd	33 ab
M	177 b	0/18 ab	1/16 a	3/04 c	177 b	32 bc
S10M	194 a	0/19 a	1/14 a	4/12 a	238 a	35 ab
S20M	190 a	0/17 cd	1/21 a	4/02 a	223 a	35 ab
S30M	168 b	0/17 cd	1/17 a	3/38 bc	174 b	37 a
F	15	8/5	10	7/4	15	6/3
P-value	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/05

در هر ستون مشخص میانگین‌ها با حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد دارند؛

S0: تیمار شاهد؛ S10, S20, S30: به‌ترتیب کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک؛ M: کاربرد 50 گرم کود گاوی در هر کیلوگرم خاک؛ S10M, S20M, S30M: به‌ترتیب کاربرد کود گاوی+10، 20 و یا 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک

فسفر

دامنه غلظت فسفر در برگ نهال نارنج از 0/15 (کاربرد 30 گرم گوگرد) تا 0/19 درصد (کاربرد توأم 10 گرم گوگرد و کود گاوی) متغیر بود (جدول 4). بیشترین غلظت فسفر در برگ نارنج در شرایط کاربرد کود گاوی به‌صورت توأم با کود گاوی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با غلظت فسفر در برگ نارنج در شرایط کاربرد کود گاوی به تنهایی و یا کاربرد 10 گرم گوگرد به تنهایی نداشت. کمترین غلظت فسفر در برگ نهال‌های نارنج تیمارشده با 30 گرم گوگرد مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد مقادیر کاربرد گوگرد بیشتر از 10

گرم، اثرات کاهشی بر غلظت فسفر در برگ نارنج داشته است. بنابراین بهترین تیمار گوگرد به لحاظ تاثیر بر غلظت فسفر در برگ نارنج، تیمار کاربرد 10 گوگرد به همراه کود گاوی (به مقدار 20 درصد وزنی کود گاوی) بود. علاوه بر این، همان‌طور که در جدول 6 نیز ملاحظه می‌شود بیشترین فعالیت فسفاتاز قلیایی، آنزیم دخیل در چرخه فسفر در خاک، نیز در سطح کاربرد 10 گرم گوگرد مشاهده شد. هم‌چنین استفاده از کود گاوی تنها تاثیر مثبتی بر غلظت فسفر در برگ نارنج در همه‌ی سطوح مورد بررسی از گوگرد داشته اما این تاثیر فقط در سطح کاربرد 30 گرم از گوگرد معنی‌دار بود.

پتاسیم

دامنه غلظت پتاسیم در برگ نارنج از 0/96 تا 1/21 درصد متغیر بود (جدول 4) و بیشترین غلظت پتاسیم در برگ نارنج در شرایط کاربرد 20 گوگرد به صورت توأم با کود گاوی (به مقدار 40 درصد وزنی کود گاوی) مشاهده شد که تفاوت معنی¬داری با سایر تیمارهای کود گاوی و نیز تیمار 20 گرم گوگرد به تنهایی نداشت. هم‌چنین استفاده از کود گاوی تاثیر مثبتی بر غلظت پتاسیم در برگ در همه‌ی سطوح مورد بررسی از گوگرد داشته است (جدول 4).

کلسیم: دامنه غلظت کلسیم در برگ نهال نارنج از 3/01 (تیمار شاهد) تا 4/12درصد (کاربرد 10 گرم گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی) متغیر بود (جدول 4). بررسی نتایج نشان داد با کاربرد گوگرد غلظت کلسیم در برگ نارنج افزایش یافته و این افزایش در کاربرد 10 گرم گوگرد در مقایسه با سایر سطوح کاربردی گوگرد بیشتر بود (جدول 4).

روی: دامنه غلظت روی در برگ نارنج از 28 تا 37 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 4) بیشترین غلظت روی در برگ نارنج تیمار شده با 30 گرم گوگرد بصورت توأم با کود گاوی مشاهده شد که اختلاف معنی-داری با غلظت روی در برگ سایر تیمارهای حاوی گوگرد نداشت.

آهن

دامنه غلظت آهن در برگ نارنج از 115 تا 238 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 4). علاوه بر این، بررسی نتایج نشان داد صرف نظر از استفاده از کود گاوی، با کاربرد 10 و 20 گرم گوگرد، غلظت آهن در برگ نارنج افزایش اما کاربرد 30 گرم تاثیر معنی‌داری بر غلظت آهن در برگ نارنج نداشت. بیشترین مقدار غلظت آهن در برگ نارنج در شرایط کاربرد 10 و 20 گرم گوگرد به صورت توأم با کود گاوی (به مقدار 20 و 40 درصد وزنی کود گاوی) مشاهده شد و کمترین غلظت آهن در برگ نارنج در تیمار شاهد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با غلظت آهن در شرایط کاربرد 30 گرم گوگرد به تنهایی نداشت. هم‌چنین استفاده از کود گاوی تاثیر مثبتی بر غلظت آهن در برگ نارنج در همه‌ی سطوح مورد بررسی از گوگرد داشته است.

با توجه به نتایج غلظت عناصر غذایی در برگ نارنج بنظر می‌رسد چه در شرایط کاربرد کود گاوی و چه در شرایط عدم کاربرد کود گاوی، کاربرد 10 گرم گوگرد می‌تواند بهبود غلظت عناصر غذایی در برگ نارنج را به همراه داشته باشد. تاثیر کاربرد گوگرد بر غلظت عناصر غذایی در برگ مرکبات و سایر محصولات باغی در دیگر تحقیقات گزارش شده است (ال-واکیل و منصور، 2014؛ همتی و همکاران، 2012؛ موروحی، 2012). در واقع گوگرد می‌تواند از طریق تاثیر بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک (جداول 5 و 6) بر قابلیت استفاده عناصر غذایی (جدول 6) تأثیرگذار باشد. در ادامه نتایج تاثیر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی از ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک و نیز بر مقدار شکل قابل استفاده برخی عناصر غذایی پرداخته شده است.

ویژگی‌های شیمیایی

اثرات تیمارها بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی و نیز شکل قابل استفاده برخی عناصر غذایی در خاک مورد مطالعه در جدول 5 آورده شده است.

پ-اچ

دامنه تغییرات پ-اچ از 6/3 تا 6/8 متغیر بود. کمترین مقدار پ-اچ در تیمارهای کاربرد گوگرد به همراه کود گاوی و نیز در سطح کاربرد 30 گرم گوگرد به تنهایی مشاهده شد (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد در همه سطوح گوگرد مورد مطالعه به استثنا سطح 30 گرم، با کاربرد کود گاوی پ-اچ خاک به طور معنی‌داری کاهش یافت. علاوه بر این، بررسی نتایج نشان داد در شرایط عدم کاربرد کود گاوی، با کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک به طور تدریجی به ترتیب مقدار پ-اچ خاک 3/2، 4/4 و 7/5 درصد کاهش نشان داد و خاک اسیدی‌تر شد (جدول 6). در شرایط کاربرد توأم کود گاوی و گوگرد، با کاربرد 10، 20 و 30 گرم کود گوگرد در هر کیلوگرم خاک به ترتیب مقدار پ-اچ در خاک 2/6، 2/7 و 2/7 درصد کاهش نشان داد (جدول 5) هرچند در شرایط کاربرد کود گاوی با افزایش سطح کاربرد گوگرد از 10 به 30 گرم تفاوت معنی‌داری بین پ-اچ مشاهده نشد. با کاربرد توأم 10 گرم گوگرد و کود آلی پ-اچ خاک به طور معنی‌داری به علت اکسیداسیون میکروبی گوگرد عنصری و نیز گروه‌های اسیدی کود آلی کاهش یافت. به‌هر حال، کاربرد کود آلی از تغییرات بیشتر پ-اچ به دنبال افزایش مقدار گوگرد جلوگیری کرده و پ-اچ را ثابت نگه داشته است.

کودهای آلی به علت داشتن گروه های اسیدی ضعیف، دارای ظرفیت بافری بالایی بوده و می‌توانند تغییرات پ-اچ به دنبال اضافه کردن سایر افزودنی‌های به خاک را کاهش دهند. به‌طورکلی، کاهش پ-اچ خاک در شرایط کاربرد ترکیبی گوگرد و کود حیوانی بیشتر از کاربرد هر یک از این اصلاح کننده‌های خاک به تنهایی بود که نشان می‌دهد افزودن کود گاوی با گوگرد عنصری در تهییج اکسیداسیون گوگرد مؤثرتر از کاربرد گوگرد به تنهایی بود. در برخی منابع به تاثیر بیشتر کاربرد توأم کود گاوی و گوگرد بر کاهش پ-اچ خاک در مقایسه تاثیر هریک از این اصلاح کننده های به تنهایی اشاره شده است (رضاپور، 2014؛ انصار و همکاران، 2017). به هرحال درجه اسیدی شدن خاک به دنبال کاربرد گوگرد به مقدار گوگرد مورد استفاده و ظرفیت بافری خاک بستگی دارد. هر چه ظرفیت بافری خاک بیشتر باشد، تغییرات پ-اچ خاک کمتر است (زو و همکاران، 2012). برای مثال اثر افزودن گوگرد بر شدت اسیدی شدن خاک‌های اسیدی با بافت سبک در مقایسه با خاک‌های با بافت سنگین بیشتر بود (تابک و همکاران، 2020). طبق منابع موجود، در دامنه پ-اچ 4-6/5 رابطه مستقیمی بین ظرفیت بافری پ-اچ خاک، محتوای ماده آلی خاک و درصد رس آن گزارش شده است (نلسون و سو، 2010).

دامنه پ-اچ مناسب برای رشد و توسعه رشد مرکبات 5/5-7/6 می‌باشد (سایس و همکاران، 1993). اکسیداسیون گوگرد در خاک منجر به تولید پروتون در خاک و کاهش پ-اچ می‌شود. همان‌طور که در جدول 4 ملاحظه می‌شود افزایش غلظت آهن و روی در برگ نارنج به دنبال کاربرد گوگرد تا سطح 20 گرم بر کیلوگرم می‌تواند بدلیل کاهش پ-اچ در خاک‌های تیمار شده با گوگرد و به دنبال آن افزایش قابلیت دسترسی ریشه گیاه به این عناصر در خاک باشد. به هرحال اسیدی شدن شدید خاک می‌تواند باعث کاهش رشد ریشه و به دنبال آن کاهش جذب عناصر غذایی و سمیت عناصری از قبیل آلومینیوم گردد. طبق منابع موجود کاهش پ-اچ خاک از 6/5 به 5/2 به دنبال کاربرد درازمدت نیتروژن منجر به کاهش کلسیم و منیزیم قابل استفاده در خاک و افزایش آلومینیوم در محلول خاک شده و نیز به دنبال اسیدی شدن خاک ترکیب جمعیت میکروبی خاک تغییر و تنفس خاک نیز کاهش یافته است (چن و همکاران، 2016).

قابلیت هدایت الکتریکی

دامنه تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی خاک از 0/57 تا 2/5 دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود. کمترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در تیمارهای حاوی گوگرد مشاهده شد و بین سطوح مختلف گوگرد به

لحاظ تاثیر بر قابلیت هدایت الکتریکی اختلاف معنی¬داری مشاهده نشد. علاوه بر این اثرات ترکیبی گوگرد و کود گاوی بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک متفاوت از اثرات کاربرد گوگرد به تنهایی بر این شاخص نبود. افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک به دنبال کاربرد گوگرد می‌تواند به دلیل افزایش مقدار سولفات محلول در خاک (رضاپور، 2014) و نیز افزایش حلالیت بسیاری از ترکیبات معدنی موجود در خاک به دنبال کاهش پ-اچ خاک باشد. بنابراین گوگرد به تنهایی و یا در ترکیب با کود گاوی، اثر منفی بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک به عنوان یکی از شاخص‌های معرف کیفیت خاک داشته است. اثر منفی افزودن گوگرد به تنهایی یا در ترکیب با کود گاوی بر شاخص کیفیت شوری خاک توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (رضاپور، 2014). در تحقیقی اثرات کاربرد گوگرد عنصری و کمپوست کود گاوی طی 32 هفته انکوباسیون بر پ-اچ، قابلیت هدایت الکتریکی و قابلیت دسترسی فسفر در یک خاک رسی آهکی بررسی شده است. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که با کاربرد توأم کود گاوی و گوگرد عنصری مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک در مقایسه با سطوح متناظر کاربرد گوگرد به تنهایی افزایش معنی‌داری یافته است (هاشمی‌نژاد و همکاران، 2012).

ظرفیت تبادل کاتیونی

دامنه تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از 14/7 تا 19 سانتی‌مول بار بر کیلوگرم خاک متغیر بود. کمترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در تیمار شاهد و بیشترین مقدار این شاخص در شرایط کاربرد کود گاوی و در سطح کاربرد 30 گرم گوگرد مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد در همه سطوح گوگرد مورد مطالعه با کاربرد کود گاوی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت. کلوئیدهای هوموسی برخلاف رس‌ها، می‌تواند کاتیون‌ها را در یک شکل به آسانی قابل تبادل که به سهولت توسط ریشه گیاهان قابل استفاده اما به راحتی از پروفیل خاک شسته نمی‌شوند، جذب نمایند (برادی و همکاران، 2008). علاوه بر این، در هر دو سطح کاربرد کود گاوی، با کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش یافت.

جدول 5- اثرات کاربرد گوگرد (به تنهایی یا به‌صورت توأم با کود گاوی) بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و شکل قابل استفاده برخی عناصر غذایی در خاک مورد مطالعه

تیمارها	پ-اچ	قابلیت هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	فسفر	پتاسیم	کلسیم	سولفات	آهن	روی
	-	دسی‌زیمنس بر متر	سانتی‌مول بار بر کیلوگرم	میلی‌گرم بر کیلوگرم					
S0	6/78 a	0/57 c	14/7 f	18 e	175 e	536 g	8 g	1/6 e	0/5 d
S10	6/56 b	2/47 a	15/7 e	26 d	188 de	734 e	34 e	2/5 c	0/7 d
S20	6/48 b	2/52 a	16/5 d	23 d	200 cd	1119 d	38 d	2/2 d	1/1 b
S30	6/27 c	2/52 a	17/0 c	23 d	208 c	1576 b	43 b	2/1 d	1/2 b
M	6/44 b	1/09 b	16/7 cd	37 c	270 b	613 f	16 f	3/4 a	0/8 c
S10M	6/26 c	2/40 a	16/9 c	49 b	270 b	777 e	37 d	3/6 a	1/1 b
S20M	6/26 c	2/47 a	18/5 b	64 a	285 ab	1340 c	41 c	3/1 b	1/2 b
S30M	6/25 c	2/53 a	19/0 a	53 b	293 a	1649 a	47 a	2/8 c	1/7 a
F	16	198	109	34	80	710	631	49	65
P-value	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01	<0/01

در هر ستون مشخص میانگین‌ها با حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد دارند؛

S0: تیمار شاهد؛ S30, S20, S10: به‌ترتیب کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک؛ M: کاربرد 50 گرم کود گاوی در هر کیلوگرم خاک؛ S30M, S20M, S10M: به‌ترتیب کاربرد کود گاوی+10، 20 و یا 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک

فسفر قابل استفاده

دامنه غلظت فسفر استخراجی به روش اولسن در خاک تیمارهای مورد بررسی از 18 (شاهد) تا 64 (کاربرد توأم 2 گرم گوگرد و کود گاوی) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد با کاربرد گوگرد (صرف‌نظر از سطح مورد استفاده)، مقدار فسفر قابل استفاده در خاک افزایش یافته است. هم‌چنین با کاربرد کود گاوی در همه‌ی سطوح گوگرد، مقدار فسفر قابل استفاده افزایش یافته است.

پتاسیم قابل استفاده خاک: دامنه غلظت پتاسیم قابل استفاده خاک در تیمارهای مورد مطالعه از 175 تا 293 میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد با کاربرد گوگرد مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک افزایش یافته و بیشترین غلظت پتاسیم قابل استفاده خاک در شرایط کاربرد 30 گوگرد به صورت توأم با کود گاوی مشاهده شد که تفاوت معنی¬داری با تیمار 20 گرم گوگرد به همراه کود گاوی نداشت. هم‌چنین استفاده از کود گاوی تاثیر مثبتی بر غلظت پتاسیم قابل استفاده خاک در همه‌ی سطوح مورد بررسی از گوگرد داشته است (جدول 5).

کلسیم قابل استفاده: دامنه غلظت کلسیم قابل استفاده خاک در تیمارهای مورد مطالعه از 536 (تیمار شاهد) تا 1649 (کاربرد 30 گرم گوگرد به‌صورت توأم با کود گاوی) میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد با کاربرد گوگرد غلظت کلسیم قابل استفاده خاک افزایش یافته و نیز با کاربرد کود گاوی غلظت کلسیم قابل استفاده در همه‌ی سطوح گوگردی مورد استفاده با استثنا سطح 10 گرم گوگرد افزایش یافته است.

آهن قابل استفاده

دامنه تغییرات آهن قابل استفاده خاک در تیمارهای مورد مطالعه از 1/6 (تیمار شاهد) تا 3/6 (کاربرد 10 گرم گوگرد به همراه کود گاوی) میلی گرم بر کیلوگرم بود (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد در شرایط عدم کاربردکود گاوی با کاربرد گوگرد سطح آهن قابل استفاده خاک نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و بیشترین غلظت آهن قابل استفاده در شرایط کاربرد 10 گرم گوگرد مشاهده شد. در شرایط کاربرد کود گاوی بیشترین مقدار آهن قابل استفاده با کاربرد 10 گرم گوگرد مشاهده شد، هرچند بین سطح 10 گرم گوگرد و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری یافت نشد. هم‌چنین بررسی نتایج نشان داد کاربرد کود گاوی در همه‌ی سطوح گوگرد مورد مطالعه تأثیر مثبت بر مقدار آهن قابل استفاده خاک داشته است.

روی قابل استفاده

دامنه تغییرات روی قابل استفاده از 0/5 تا 1/7 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین غلظت روی قایل استفاده در شرایط کاربرد 30 گرم گوگرد به همراه کود گاوی و کمترین غلظت روی قابل استفاده در تیمار شاهد مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد مقدار روی قابل استفاده خاک در همه‌ی سطوح گوگرد با کاربرد کود گاوی افزایش یافته است (جدول 5).

سولفات قابل استفاده: دامنه سولفات قابل استفاده در تیمارهای مورد مطالعه از 8 (تیمار شاهد) تا 47 (کاربرد 30 گرم گورد به همراه کود گاوی) میلی‌گرم برکیلوگرم متغیر بود (جدول 5). بررسی نتایج نشان داد با افزایش سطح کاربرد گوگرد، غلظت سولفات قابل استفاده در خاک افزایش یافت. هم‌چنین با کاربرد کود گاوی در همه‌ی سطوح کاربرد گوگرد، مقدار سولفات قابل استفاده افزایش یافت.

افزایش قابلیت استفاده بسیاری از عناصر غذایی از قبیل فسفر (هاشمی‌نژاد و همکاران، 2012؛ ماسودا و همکاران، 2016؛ رضاپور، 2014)، آهن (رضاپور، 2014؛ بورانیس و همکاران، 2018) روی (رضاپور، 2014؛ وانگ و همکاران، 2008)، مس (وانگ و همکاران، 2008) به دنبال کاربرد گوگرد در انواعی از خاک¬ها گزارش شده است.

ویژگی‌های زیستی خاک

فعالیت فسفاتاز اسیدی

دامنه تغییرات فعالیت فسفاتاز اسیدی در خاک مورد مطالعه از 86 تا 333 میکروگرم پی-نیترو فنل فسفات بر گرم خاک در ساعت متغیر بود. بیشترین فعالیت فسفاتاز اسیدی در شرایط کاربرد کود گاوی و با کاربرد 10 گرم گوگرد مشاهده شد و کمترین فعالیت این آنزیم در تیمار شاهد یافت شد. بررسی نتایج نشان داد در همه سطوح گوگرد مورد مطالعه، با کاربرد کود گاوی فعالیت فسفاتاز اسیدی به طور معنی‌داری افزایش یافت. علاوه بر این، بررسی نتایج نشان داد در شرایط عدم کاربرد کود گاوی در همه‌ی سطوح گوگرد مورد بررسی، فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در خاک افزایش نشان داد (جدول 6) هرچند افزایش سطح کاربرد گوگرد از 10 به 30 تاثیر معنی‌داری بر فعالیت فسفاتاز اسیدی نداشت. در شرایط کاربرد توأم کود گاوی و کود گوگرد، با کاربرد 10 و 20 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک نیز فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در خاک افزایش نشان داد. این درحالی بود که کاربرد 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم منجر به کاهش فعالیت فسفاتاز اسیدی در خاک مورد مطالعه شد (جدول 6) هرچند این کاهش در مقایسه با شرایط کاربرد کود گاوی به تنهایی معنی‌دار نبود.

تحت شرایط کمبود فسفر، هم ریشه گیاه و هم ریزجانداران به منظور تأمین نیاز غذایی گیاه، قادر به تولید آنزیم‌های فسفاتاز هستند (نانیپیر و همکاران، 2011). به هر حال طبق گزارش‌های موجود، ریشه گیاهان تنها قادر به تراوش فسفاتاز اسیدی هستند (طرفدار و کلاسن، 1988). در شرایط عدم کاربرد کود گاوی، با توجه به غلظت فسفر در برگ نهال‌های نارنج، بنظر می‌رسد افزایش فعالیت فسفاتاز اسیدی به دنبال کاربرد گوگرد نمی‌تواند به علت کمبود فسفر در محیط پیرامون ریشه باشد، در این شرایط احتمالاً کاهش پ-اچ می‌تواند دلیلی بر افزایش فسفاتاز اسیدی باشد. رابطه مستقیم بین پ-اچ خاک و فعالیت فسفاتاز اسیدی توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (آکوستا-مارتینز و همکاران، 2000) به هر حال در شرایط استفاده توأم کود گاوی و گوگرد، افزایش فعالیت فسفاتاز اسیدی تا سطح کاربرد 10 گرم گوگرد و به دنبال آن کاهش فعالیت این آنزیم با کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت میکروبی و احتمالاً افزایش ترشحات ریشه گیاه با کاربرد 10 گرم گوگرد و ممانعت از فعالیت ریزجاندران و ریشه گیاه با کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد ارتباط داده شود. طبق گزارش‌های موجود در دامنه پ-اچ 4/9 تا 6/9 فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی به طور معکوس و فعالیت بسیاری از آنزیم‌های دیگر به طور مستقیم با پ-اچ خاک همبستگی دارند (آکوستا-مارتینز و همکاران، 2000).

فعالیت فسفاتاز قلیایی

دامنه تغییرات فعالیت فسفاتاز قلیایی در خاک مورد مطالعه از 161 تا 342 میکروگرم پی-نیترو فنل فسفات بر گرم خاک در ساعت متغیر بود. بیشترین فعالیت فسفاتاز قلیایی در شرایط کاربرد کود گاوی و با کاربرد 10 گرم گوگرد مشاهده شد و کمترین فعالیت این آنزیم در تیمار شاهد یافت شد. بررسی نتایج نشان داد در همه سطوح گوگرد مورد مطالعه، با کاربرد کود گاوی فعالیت فسفاتاز قلیایی به طور معنی‌داری افزایش یافت. بررسی نتایج نشان داد در شرایط عدم کاربرد کود گاوی، با کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک به ترتیب فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک 83، 22 و 12 درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (جدول 6) هرچند این افزایش فقط در سطح 10 گرم گوگرد معنی‌دار بود. در شرایط کاربرد توأم کود گاوی و کود گوگرد، با کاربرد 10، 20 و 30 گرم کود گوگرد در هر کیلوگرم خاک به ترتیب فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک 19 و 4 درصد افزایش نشان داد. این درحالی بود که کاربرد 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم منجر به کاهش 7 درصدی فعالیت فسفاتاز قلیایی در خاک شد (جدول 6).

آنزیم‌های فسفاتاز باعث آزادسازی فسفر از طریق هیدرولیز فسفر آلی می‌شوند. آنزیم فسفاتاز قلیایی

عمدتاً توسط قارچ‌ها و باکتری‌ها ترشح می‌شود (دیک و کاندرلر، 2005). افزایش فعالیت فسفاتاز قلیایی به دنبال کاربرد کود گاوی می‌تواند به دلیل افزایش مواد آلی با کیفیت بالا و فعالیت بیشتر ریزجاندارن در شرایط کاربرد کود گاوی باشد. علاوه بر این افزایش فعالیت این آنزیم تا سطح کاربرد 10 گرم گوگرد می‌تواند ناشی از فعالیت میکروبی بالاتر در این دامنه پ-اچ باشد. به هر حال کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد تاثیر مثبتی بر فعالیت این آنزیم ندارد و حتی در شرایط کاربرد 30 گرم گوگرد و کود گاوی اثرات ممانعت کننده بر فعالیت این آنزیم دارد. کاهش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با کاربرد گوگرد در یک خاک اسیدی با پ-اچ اولیه 5/7 نیز گزارش شده است (گوپتا و همکاران، 1988). تغییر در فعالیت‌های آنزیمی با تغییر پ-اچ می‌تواند به واسطه‌ی تغییر در جمعیت میکروبی خاک و ترکیبات وابسته به آن‌ها باشد. گزارش‌هایی مبنی بر تغییر ساختار جمعیت میکروبی خاک به دنبال کاربرد گوگرد وجود دارد (ونگ و همکاران، 2008؛ ماسودا و همکاران، 2016). طبق منابع موجود روند تغییرات فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی با پ-اچ روندی سیگموئیدی دارد بطوری که با کاهش پ-اچ خاک از 7/27 به 6/37 به علت کاربرد گوگرد، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی افزایش و با کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد از پ-اچ 6/37 به 5/28 فعالیت این آنزیم سریعاً کاهش یافت و با کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد پ-اچ 5/28 به 4/74 فعالیت این آنزیم اندکی کاهش یافت (ونگ و همکاران، 2008). در گزارشی دیگر مشاهده شد که که با افزایش سطح کاربرد گوگرد، کربن زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی کاهش یافت (رضایی و همکاران، 1392).

به طورکلی در تحقیق حاضر، کاربرد 10 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز را تحت تأثیر قرار داده و کاربرد کود گاوی این اثرات را ارتقا بخشیده اما کاربرد مقادیر گوگرد بیش از 10 گرم، اثر منفی روی مسیرهای بیوشیمیایی در ارتباط با چرخه عناصر غذایی از جمله فسفر در شرایط کاربرد کود گاوی داشته و این تأثیر منفی در مورد آنزیم فسفاتاز قلیایی بیشتر از فسفاتاز اسیدی بود. طبق منابع موجود اسیدی شدن خاک از طریق تغییر ترکیب جامعه میکروبی و کاهش زیست¬توده کل میکروبی منجر به کاهش تنفس خاک در شرایط اسیدی شده، هم¬چنین بررسی منابع نشان می¬دهد به دنبال این رخداد آنزیم-های برون¬سلولی جامعه میکروبی خاک کاهش یافته و همین امر منجر به کاهش تجزیه مواد می¬شود (چن و همکاران، 2016).

بررسی نتایج همبستگی در جدول 7 نشان داد که غلظت فسفر قابل استفاده در خاک با فعالیت فسفاتازهای اسیدی و قلیایی و ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه مستقیم و با پ-اچ رابطه غیرمستقیم داشت. غلظت پتاسیم، کلسیم و روی قابل استفاده در خاک نیز با ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه مستقیم و با پ-اچ رابطه غیرمستقیم داشت. علاوه براین غلظت سولفات قابل استفاده در خاک با قابلیت هدایت الکتریکی خاک رابطه مستقیم و با پ-اچ رابطه غیرمستقیم داشت. در واقع گوگرد می¬تواند از طریق تأثیر بر واکنش¬های شیمیایی خاک از قبیل کاهش پ-اچ به طور مستقیم و نیز از طریق تأثیر بر واکنش¬های زیستی خاک به طور غیرمستقیم بر قابلیت استفاده عناصر غذایی تأثیرگذار باشد.

جدول 6- اثرات کاربرد گوگرد (به تنهایی یا به‌صورت توأم با کود گاوی) بر برخی ویژگی‌های زیستی خاک مورد مطالعه

تیمارها	فسفاتاز اسیدی	فسفاتاز قلیایی
	میکروگرم پی-نیترو فنل فسفات بر گرم خاک در ساعت	
S0	86 f	161 c
S10	134 e	296 b
S20	138 e	197 c
S30	166 d	181 c
M	225 bc	289 b
S10M	333 a	342 a
S20M	247 b	300 b
S30M	222 c	269 b
F	24	110
P-value	<0/01	<0/01

در هر ستون مشخص میانگین‌ها با حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان 95 درصد دارند؛
S0: تیمار شاهد؛ S30, S20, S10: به‌ترتیب کاربرد 10، 20 و 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک؛ M: کاربرد 50 گرم کود گاوی در هر کیلوگرم خاک؛ S30M, S20M, S10M: به‌ترتیب کاربرد کود گاوی+10، 20 و یا 30 گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک

همبستگی مقدار قابل استفاده عناصر غذایی در خاک با ویژگی‌های شیمیایی و زیستی مورد مطالعه

جدول 7- ضرایب همبستگی بین غلظت عناصر غذایی در برگ نارنج و ویژگی¬های خاکی مطالعه شده

شکل قابل استفاده	فسفاتاز اسیدی	فسفاتاز قلیایی	پ-اچ	هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی
فسفر	0/80*	0/73*	-0/72*	0/37	0/84*
پتاسیم	0/85*	0/68	-0/76*	0/25	0/85*
سولفات	0/37	0/23	-0/80*	0/97*	0/67
کلسیم	0/14	-0/15	-0/71*	0/68	0/75*
روی	0/44	0/13	-0/80*	0/64	0/88*
آهن	0/87*	0/78*	-0/61	0/17	0/55

* معنی‌دار در سطح اطمینان 95 درصد

همبستگی مقدار قابل استفاده عناصر غذایی در خاک با ویژگی های شیمیایی و زیستی مورد مطالعه

به طور کلی، سلامت خاک قویاً به فعالیت ریزجانداران خاک که به عنوان قلب خاک درنظر گرفته می‌شود، بستگی دارد (شارما و همکاران، 2017). همان طور که در این مطالعه نیز اثبات شد در میان‌های شاخص-های مرتبط با کیفیت خاک، شاخص‌های زیستی حساس-ترین به تغییر اعمال مدیریت می‌باشند و بهتر می‌توانند تغییرات کیفیت خاک به ویژه در کوتاه مدت را منعکس نمایند و می‌توانند به عنوان شاخص خوبی از تغییرات کیفیت خاک و قابلیت تولید خاک برای نارنج در نظر گرفته شوند. هم‌چنین، لازم به ذکر است که منبع تامین گوگرد در مطالعه‌ی حاضر از معدن زرکوه بوده که حاوی 20 درصد گوگرد کل است و مسلماً ناخالصی‌های دیگر نیز به‌همراه این کود وجود دارد که می‌تواند عاملی برای اثر منفی گوگرد در غلظت بیشتر از 20 گرم (به ویژه در شرایطی که این کود گود به تنهایی در خاک استفاده می-شود) برای شاخص‌های زیستی و گیاهی باشد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی حاضر بهترین تیمار گوگردی از منبع گوگرد معدن زرکوه به لحاظ تأثیر بر شاخص‌های رشد نهال نارنج و نیز بر شاخص‌های کیفیت خاک به ویژه شاخص‌های زیستی نیز تیمار 10 گرم گوگرد به همراه

کود گاوی تشخیص داده شد. ضمن اینکه کاربرد مقادیر بیشتر گوگرد به ویژه 30 گرم اثرات سوء بر شاخص‌های رشد نارنج و نیز بر شاخص‌های زیستی شامل فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز داشت. از این رو با توجه به نتایج به دست آمده در این آزمایش و حساسیت بیشتر شاخص-های زیستی به تیمارهای مورد مطالعه، تاثیر مصرف کوتاه مدت و اثرات تجمعی ناشی از مصرف سالانه گوگرد در خاک¬های اندکی اسیدی بر فعالیت¬های زیستی خاک باید مورد توجه قرار گیرد. هم‌چنین، با توجه به این نکته که اسیدی شدن شدید خاک تأثیرات منفی بر چرخه عناصر غذایی، ساختمان، ترکیب جمعیت زیستی و قابلیت تولید خاک دارد، لذا، توصیه می‌شود در صورت استفاده از گوگرد در خاک‌های اسیدی حتماً پ-اچ خاک مورد پایش قرار گیرد.

فهرست منابع:

1. رضائی، ش.، خاوازی، ک.، نظامی، م.ط. و سعادت، س. 1392. تأثیر گوگرد، فسفر و نقش گیاه بر زیست توده میکروبی و فعالیت فسفاتازهای خاک. پژوهش های خاک، 27(2): 217-226.
2. مجیدی، ع. 1395. تاثیر مقادیر و منابع گوگرد بر رشد و برخی خواص کیفی میوه سیب رقم زرد. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، 6: 25-44.
3. Acosta-Martínez, V., and Tabatabai, M.A. 2000. Enzyme activities in a limed agricultural soil. Biol. Fertil. Soils 31(1): 85–91.
4. Ansar, M.H., Hashemabadi, D., and Kaviani, B. 2017. Effect of Cattle Manure and Sulfur on Yield and Oil Composition of Pumpkin (*Cucurbita pepo* var. Styriaca) Inoculated with Thiobacillus thiooxidans in Calcareous Soil. Commun. in Soil Sci. Plant Anal. 48(18): 2103–2118.
5. Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., and García, C. 2008. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. Geoderma 147(3): 159–171.
6. Bouranis, D.L., Chorianopoulou, S.N., Margetis, M., Saridis, G.I., and Sigalas, P.P. 2018. Effect of elemental sulfur as fertilizer ingredient on the mobilization of iron from the iron pools of a calcareous soil cultivated with durum wheat and the crop's iron and sulfur nutrition. Agriculture 8(2): 20.
7. Brady, N.C., Weil, R.R., and Weil, R.R. 2008. The nature and properties of soils (Vol. 13). Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
8. Brejda, J.J., Moorman, T.B., Karlen, D.L., and Dao, T.H. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators I. Central and Southern High Plains. Soil Sci. Soc. Am. J. 64(6): 2115–2124.
9. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen□total. p. 1085–1121. In D.L. Sparks et al. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods. SSSA, Madison, WI.
10. Chapman, H.D. 1965. Cation□exchange capacity. p. 891–901. In A.G. Norman (ed.) Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. SSSA, Madison, WI.
11. Chen, D., Li, J., Lan, Z., Hu, S., and Bai, Y. 2016. Soil acidification exerts a greater control on soil respiration than soil nitrogen availability in grasslands subjected to long□term nitrogen enrichment. Funct. Ecol. 30(4): 658–669.
12. Dick, R.P., and Kandeler, E. 2005. Enzymes in soils. p. 448–456. In E. Hillel (ed.) Encyclopedia of Soils in the Environment, Vol. 1. Elsevier Ltd., Oxford.
13. Divito, G.A., Echeverría, H.E., Andrade, F.H., and Sadras, V.O. 2015. Diagnosis of S deficiency in soybean crops: Performance of S and N: S determinations in leaf, shoot and seed. Field Crops Res. 180: 167-175.

14. Doll, E.C., and Lucas, R.E. 1973. Testing soil for potassium, calcium and magnesium. p 133-152. In L.M. Walsh and J.D. Beaton. (eds.) Soil testing and plant analysis. SSSA Madison, WI.
15. Eivazi, F., and Tabatabai, M.A. 1977. Phosphatases in soils. Soil Biol Biochem. 9(3): 167–172.
16. El-Wakeel, H., and Mansour, N. 2014. Fertilizing young navel orange trees with sulfur and wood ash as a source of sustainable agriculture. J Hortic Sci Biotechnol, 6: 50–58.
17. Gee, G.H., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. p. 383-409. In A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2 physical properties. SSSA, Madison, WI.
18. Gupta, V., Lawrence, J.R., and Germida, J.J. 1988. Impact of elemental sulfur fertilization on agricultural soils. I. Effects on microbial biomass and enzyme activities. Can. J. Soil Sci. 68(3): 463–473.
19. Hashemimajd, K., Farani, T.M., and Jamaati-e-Somarin, S. 2012. Effect of elemental sulphur and compost on pH, electrical conductivity and phosphorus availability of one clay soil. Afr. J. Biotechnol. 11(6): 1425–1432.
20. Helmke, Ph.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
21. Hemmaty, S., Dilmaghani, M.R., and Naseri, L. 2012. Effects of sulfur application on soil pH and uptake of phosphorus, iron and zinc in apple trees. J. plant physiol. breed. 2(1): 1–10.
22. Kalra, Y. 1997. Handbook of reference methods for plant analysis. CRC press.
23. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A., 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.
24. Malik, K.M., Khan, K.S., Billah, M., Akhtar, M.S., Rukh, S., Alam, S., Munir, A., Mahmood Aulakh, A., Rahim, M., and Qaisrani, M.M. 2021. Organic Amendments and Elemental Sulfur Stimulate Microbial Biomass and Sulfur Oxidation in Alkaline Subtropical Soils. Agron. 11(12): 2514.
25. Masuda, S., Bao, Z., Okubo, T., Sasaki, K., Ikeda, S., Shinoda, R., Anda, M., Kondo, R., Mori, Y., and Minamisawa, K. 2016. Sulfur fertilization changes the community structure of rice root-, and soil-associated bacteria. Microbes Environ. ME15170.
26. Murovhi, N.R. 2012. Effect of different rates of sulphur fertilization on fruit yield and leaf mineral composition of ’Valencia ‘oranges in the subtropical environment of South Africa. II All Africa Horticulture Congress 1007: 303–310.
27. Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27: 31–36.
28. Nannipieri, P., Giagnoni, L., Landi, L., and Renella, G. 2011. Role of phosphatase enzymes in soil. p. 215–243. In E. Bünemann, A. Oberson, E. Frossard, (eds.) Phosphorus in Action. Soil Biology, vol 26. Springer, Berlin, Heidelberg.
29. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. p. 961-1011. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
30. Nelson, P.N., and Su, N. 2010. Soil pH buffering capacity: a descriptive function and its application to some acidic tropical soils. Soil Res. 48(3): 201–207.
31. Olsen, S.R. and Sommers, L.E. 1982 Phosphorus. p. 403-427. In A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney, (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
32. Pascual, J.A., Garcia, C., Hernandez, T., Moreno, J.L., and Ros, M. 2000. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. Soil Biol Biochem. 32(13): 1877–1883.

33. Raiesi, T., and Moradi, B. 2021. Young navel orange rootstock improves phosphorus absorption from poorly soluble pools through rhizosphere processes. Rhizosphere 17: 100316.
34. Rezapour, S. 2014. Effect of sulfur and composted manure on SO4-S, P and micronutrient availability in a calcareous saline–sodic soil. Chem Ecol. 30(2): 147–155.
35. Rhoades, J.D. 1996. Salinity Electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-437. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
36. Sharma, I.P., Chandra, S., Kumar, N., and Chandra, D. 2017. PGPR: heart of soil and their role in soil fertility. p. 51–67. In V. Meena et al. (eds.) Agriculturally important microbes for sustainable agriculture. Springer, Singapore.
37. Sys, C., Van, R., Debaveye, J., and Beernaert, F. 1993. Land evaluation part III crop requirement agricultural No. 7. General Administration for Development Cooperation Brussels-Belgium.
38. 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 Macro-elements and Heavy Metals. Processes 8(10): 1245.
39. Tabatabai, M.A., and Bremner, J.M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol Biochem. 1(4): 301–307.
40. Tarafdar, J.C., and Claassen, N. 1988. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. Biol. Fertil. Soils 5(4): 308–312.
41. Thiele-Bruhn, S., Schloter, M., Wilke, B.M., Beaudette, L.A., Martin-Laurent, F., Cheviron, N., Mougin, C., and Römbke, J. 2020. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment. Soil 6(1): 17–34.
42. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-491. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. SSSA, Madison, WI.
43. Wang, Y., Li, Q., Hui, W., Shi, J., Lin, Q., Chen, X., and Chen, Y. 2008. Effect of sulphur on soil Cu/Zn availability and microbial community composition. J. Hazard. Mater. 159(2–3): 385–389.
44. Williams, C.H., and Steinbergs, A. 1959. Soil sulphur fractions as chemical indices of available sulphur in some Australian soils. Aust. J. Agric. Res. 10(3): 340–352.
45. Xu, R., Zhao, A., Yuan, J., and Jiang, J. 2012. pH buffering capacity of acid soils from tropical and subtropical regions of China as influenced by incorporation of crop straw biochar. J. Soils Sediments.12(4): 494–502.
46. Zekri, M., and Obreza, T. 2013. Calcium (Ca) and sulfur (S) for citrus trees. The Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida: Gainesville, FL, USA.
47. Zhou, G.F., Peng, S.A., Liu, Y.Z., Wei, Q.J., Han, J., and Islam, M.Z. 2014. The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency. Trees. 28(1): 295–307.

Sulfur Application Effect on Sour Orange Seedling Growth Indices and Some Characteristics of a Non-Calcareous Soil

T. Raiesi[1] **and E. Kahneh**

Assistant Professor in Citrus and Subtropical Fruit Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Ramsar;
E-mail: taraieis@gmail.com

Assistant Professor in Tea Research Center, Horticultural Science Research Institute, (AREEO);
E-mail: e.kahneh@areeo.ac.ir

Received: November, 2022, and Accepted: March, 2023

Abstract

The present research aimed to study the effects of S application with and without cow manure on growth indices of young sour orange (SO) seedlings and on some chemical and biological properties of a non-calcareous soil (pH= 6.8). In this experiment, eight different treatments, including the application of S at four levels (0, 10, 20, and 30 g-S per kg-soil) with or without cow manure were used. Eight months after planting, seedlings were harvested, and shoot weight and the concentration of nutrients including phosphorus, potassium, calcium, iron, and zinc in the leaves of the seedlings were measured. Additionally, at the end of the experiment, the soils around the SO root were sampled and some biological and chemical properties including the activity of phosphatase enzymes, microbial respiration, pH, electrical conductivity (EC), and the cation exchange capacity were determined. The results showed that the combined application of S and cow manure had a more pronounced effect on the growth indices of SO seedlings and soil quality indices than S and cow manure applied alone. Also, application of 10 g S had positive effects on the shoot's weight and the concentration of P, Ca, Fe, and Zn in SO leaves and these positive effects were more pronounced in the combined application of S with cow manure. Also, with increasing the level of S application, soil pH decreased, and this decrease was more in the combined application of S and cow manure conditions. Additionally, the available amount of P, K, Ca, sulfate, Zn and Fe in the soil was affected by the level of sulfur application. Application of 10 g of S increased soil EC, although increasing the level of S application did not lead to a further increase in this parameter. The highest activity of alkaline and acidic phosphatase enzymes was obtained in the application of 10 g of S in combination with cow manure. In general, the results of this study showed that application of more than 20 g of S had an inhibitory effect on the growth of SO shoots and biological parameters under study.

Keywords: Cow manure, Biological parameters, Soil quality indices, Leaf nutrient content, Phosphatase enzymes

[1]. Corresponding author: Citrus and Subtropical Fruit Research Center, Ramsar, Iran.